

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-065603

(43)Date of publication of application : 02.03.1992

(51)Int.Cl.

G01B 11/00
H01L 21/027

(21)Application number : 02-178228

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 05.07.1990

(72)Inventor : NISHI TAKECHIKA

(54) ALIGNING METHOD FOR SUBSTRATE

(57)Abstract:

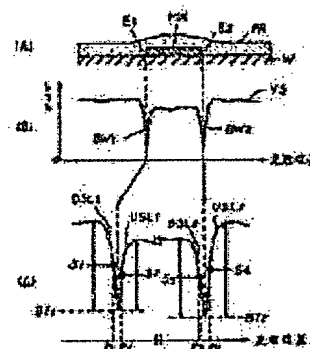
PURPOSE: To approximate the measurement accuracy of the center position of a mark to the superposition accuracy at the time of manufacturing an actual device by using the up-slope position and down-slope position of a bottom part in a mark signal waveform properly and distinctively.

CONSTITUTION: At one bottom waveform part, a scanning position P1 where a slice level S1 for dividing the part between the peak value of the shoulder part of the down-slope part DSL1 and the bottom level BT1 at a specific ratio matches the slope part DSL1 and a scanning position P2 where a slice level S2 for dividing the part between the peak part of the shoulder part of the up-slope part USL1 and the bottom level BT1 at a specific ratio matches the slope part USL1 are found. Similarly, a position P2 found from the other bottom waveform part BW2 and a position P4 found from the up slope part USL2 are determined. Then the center position Pm of the mark MK is found basically according to one of three equations.

$$P_m = (P_2 + P_3) / 2$$

$$P_m = (P_1 + P_4) / 2$$

$$P_m = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4$$



【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 1 区分

【発行日】平成 11 年（1999）12 月 10 日

【公開番号】特開平 4-65603

【公開日】平成 4 年（1992）3 月 2 日

【年通号数】公開特許公報 4-657

【出願番号】特願平 2-178228

【国際特許分類第 6 版】

G01B 11/00

H01L 21/027

【F I】

G01B 11/00 C

H01L 21/30 506 J

507 R

525 W



平 成 補 正 書

(13,500 円)

（特許法第 17 条の 2 第 2 号の規定による）

平成 10 年 1 月 14 日

特 許 庁 長 官 殿

1. 事件の表示

平成 2 年 特許願 第 178228 号

2. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

住所 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

名称 (411) 株式会社ニコン

代表者 取締役社長 野 田 正 樹

3. 代理人

住所 〒140 東京都品川区西大井 1 丁目 8 番 3 号

株式会社ニコン 大井製作所内

氏名 (7818) 弁護士 渡 辺 隆 男

電話 (2772) 7011 (代)

4. 補正により増加する請求項の数

5

5. 補正の対象

明細書

9. 補正の内容

(1) 発明の名称を『アライメント方法、露光装置、並びに位置検出方法及び装置』に訂正する。

(2) 特許請求の範囲を別紙の通り訂正する。

以 上

明 細

2. 特許請求の範囲

(1) 基板上に幾何学的、又は光学的な造形を伴って形成されたアライメントマークから生じる光情報を電気光学的走査装置によって光電検出し、前記アライメントマークの相対走査方向に関して強度変化する時系列的な光電信号を処理して、前記アライメントマークの相対走査方向の位置を決定するアライメント方法において、

前記アライメントマークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部でそれぞれ極値となる前記光電信号を前記電気光学的走査装置から得る工程と、

前記2つの極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置を決定する第1決定工程と、

前記3つの極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置を決定する第2決定工程と、

前記2つの極値波形の内側と外側の両方に存在するスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置を決定する第3決定工程と、

前記第1決定工程、第2決定工程、及び第3決定工程のうちいずれか1つの工程を、前記基板の目標とするアライメント精度に応じて選択する工程と、を含むことを特徴とするアライメント方法。

(2) 基板上に形成されたアライメントマークから生じる光情報を光電検出し、前記アライメントマークの相対走査方向に関して強度変化する時系列的な光電信号を出力する電気光学的走査装置を有し、前記光電信号を処理して得られる前記アライメントマークの相対走査方向の位置情報を利用してマスクのハッチを前記基板上に転写する露光装置において、

前記アライメントマークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部でそれぞれ極値となる前記光電信号の極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて、前記アライメントマークの位置情報を検出する第1モードと、前記極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置情報を検出する第2モー

ドと、前記極値波形の内側と外側の両方に存在するスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置情報を検出する第3モードとから選択される1つのモードを用いて前記アライメントマークの位置情報を検出するアライメントコントローラを備え、

前記検出された位置情報に基づいて前記マスクと前記基板との相対位置を調整することを特徴とする露光装置。

(3) 基板上のマークから生じる光情報を光電検出する電気光学的走査装置を有し、マスクのハッチを前記基板上に転写する露光装置において、

前記マークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部でそれぞれ極値となる前記電気光学的走査装置の出力信号の極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて、前記マークの位置情報を検出する第1モードと、前記極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記マークの位置情報を検出する第2モードと、前記極値波形の内側と外側の両方に存在するスロープ波形部分に基づいて前記マークの位置情報を検出する第3モードとのうち少なくとも一つを有し、前記少なくとも2つのモードの1つを用いて前記マークの位置情報を検出するコントローラを備えたことを特徴とする露光装置。

(4) 基板上のマークから生じる光情報を電気光学的走査装置によって光電検出し、前記マークの相対走査方向に関して強度変化する時系列的な光電信号を処理して前記マークの位置情報を検出する方法において、

前記マークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部でそれぞれ極値となる前記光電信号の極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて、前記マークの位置情報を検出する第1モードと、前記極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記マークの位置情報を検出する第2モードとのいずれか一方を用いて前記マークの位置情報を検出することを特徴とする位置検出方法。

(5) 基板上のマークから生じる光情報を電気光学的走査装置によって光電検出し、前記マークの相対走査方向に関して強度変化する時系列的な光電信号を処理して前記マークの位置情報を検出する方法において、

前記マークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部でそれぞれ極値となる前記光電信号の極値波形の内側と外側の両方に存在するスロープ波形部分に基づいて前記マークの位置情報を検出することを特徴とする位置検出方法。

(6) 基板上のマークから生じる光情報を光電検出し、前記マークの相対走査方向に関して強度変化する時系列的な光電信号を出力する電気光学的走査装置を備えた位置検出装置において、

前記マークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部でそれぞれ極値となる前記光電信号の極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて、前記マークの位置情報を検出する第1モードと、前記極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記マークの位置情報を検出する第2モードとのいずれか一方を用いて前記マークの位置情報を検出するコントローラを備えたことを特徴とする位置検出装置。

⑫ 公開特許公報(A) 平4-65603

⑤ Int. Cl.⁵G 01 B 11/00
H 01 L 21/027

識別記号

C

庁内整理番号

7625-2F

④ 公開 平成4年(1992)3月2日

7352-4M H 01 L 21/30

7352-4M

3 1 1 B

3 1 1 M

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全26頁)

⑥ 発明の名称 基板のアライメント方法

① 特 願 平2-178228

② 出 願 平2(1990)7月5日

⑦ 発 明 者 西 健 爾 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑧ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑨ 代 理 人 弁 理 士 渡 辺 隆 男

明 細 書

1. 発明の名称

基板のアライメント方法

2. 特許請求の範囲

基板上に幾何学的、又は光学的な差異を伴って形成されたアライメントマークから生じる光情報を電気光学的走査装置によって光电検出し、該アライメントマークの相対走査方向に関して強度変化する時系列的な光電信号を処理することによって前記アライメントマークの相対走査方向の位置を決定する方法において、

前記アライメントマークの相対走査方向の幅を規定する一対のマークエッジ部の夫々の位置で極値となる前記光電信号を前記電気光学的走査装置から得る工程と；

該2つの極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置を決定する第1決定工程と；

前記2つ極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマーク

の位置を決定する第2決定工程と；

前記2つ極値波形の内側と外側の両方に存在するスロープ波形部分に基づいて前記アライメントマークの位置を決定する第3決定工程と；

前記第1決定工程、第2決定工程、及び第3決定工程のうちいずれか1つの工程を、前記基板の目標とするアライメント精度に応じて選択する工程

とを含むことを特徴とする基板のアライメント方法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、半導体ウェハや液晶ディスプレイ用のプレート等に形成されたアライメントマークを光电検出してアライメントする方法に関するものである。

〔従来の技術〕

従来、ウェハやプレート等の位置合わせ（アライメント）においては、それら基板上の所定位置に形成されたアライメントマークを顕微鏡対物レ

ンズを介して光電検出する方式が一般的であった。

光電検出方式にも大別して2種類があり、レーザビーム等のスポットでマークを相対走査し、マークで生じる散乱光や回折光をフォトマルチプライヤやフォトダイオード等で受光する光ビーム走査方式と、一様照明されたマークの拡大像をテレビカメラ（ビジコン管やCCD）で撮像して、その画像信号を利用する方式とがある。

いずれの場合にも、得られる光電信号は、波形処理され、マークの中心位置が求められる。

光ビーム走査方式と撮像方式とは、その個々の走査系において全く異なる構成を取るが、ここでは両者とも電気光学的走査装置（以下、Electrical-Optical Scanner = E. O. Sとする）であるとして考える。

この様なE. O. Sのうち、レーザビームのスポットに対してウェハステージを一次元移動させて、マーク位置を検出する方式としては、USP. 4, 655, 598、USP. 4, 677, 301、USP. 4, 702, 606等に関連された

技術が知られている。

又、ウェハステージを設計値で位置決めした後、一次元走査ビームの走査範囲内でマーク位置を検出する方式としては、USP. 4, 390, 270、USP. 4, 566, 795等に関連された技術が知られている。

又、撮像方式のE. O. Sとしては、USP. 4, 402, 596、USP. 4, 679, 942、USP. 4, 860, 374等に関連された技術が知られている。

これらの従来技術では、主に以下の2つの理由で走査ビーム、又はマーク照明光として単色光を使っている。

- ①投影型露光装置（ステッパー）において、投影光学系を介してウェハマークを検出する形式では、投影光学系の大きい色収差を避けるために単一波長の照明光、又はレーザビームを使う。
- ②高輝度、高分解能の検出を行うべく微小スポットに集光するために単色のレーザビームを使う。このように単色照明光（又はビーム）を使うと、

比較的S/N比が大きくとれるが、露光装置で扱うウェハでは、通常ウェハ全面に0.5 μm ～2 μm 程度の厚みでフォトリソ層が形成されているため、単色性による干渉現象が生じ、これが、マーク位置検出時に誤検出されたり、不鮮明な画像となったりしていた。

そこで近年、レジストによる干渉現象を低減させるために、照明光の多波長化、あるいは広帯域化が提案されるようになった。

例えば撮像方式のE. O. Sで照明光をハロゲンランプ等から作り、その波長帯域幅を300 nm程度（レジストへの感光域を除く）にすると、レジストの表面とウェハの表面とで反射した光同志の干渉性がほとんどなくなり、鮮明な画像検出が可能になる。従って、撮像方式では照明光を白色化（広帯域化）するとともに、結像光学系を色消ししておくだけで、レジストに影響されない極めて高精度なアライメントセンサーが得られることになる。

（発明が解決しようとする課題）

上記の通り、照明光の多色化、又は白色化で干渉縞の発生が押さえられ、鮮明な画像検出が出来るようになると、いままで埋もれていた微小な誤差要因がクローズアップされるようになった。

すなわち、アライメントマークの段差構造がより鮮明に捕らえられることから、マークエッジのプロフィールのわずかな差異が検出精度やアライメント精度を左右するようになった。

従来、画像信号の処理アルゴリズムには様々なものが考えられていたが、いずれの方式でも、マークエッジのプロフィールのわずかな変化を考慮したものではなく、総合的なアライメント精度の向上には自ずと限界があった。

本発明はこのような問題点に鑑みて成され、アライメント精度の向上を目指すことを目的とする。
〔課題を解決する為の手段〕

本発明は、ウェハ等の基板上のアライメントマークから生じる光情報をテレビカメラやスキャニング・レーザ等の電気光学走査装置によって、光電検出し、アライメントマークの相対走査方向

に関して強度変化する時系列的な光電信号(画像信号)を処理することによってアライメントマークの位置を決定する方法に関するものである。

そして本発明では、マーク幅を規定する一対のマークエッジ部の夫々の位置で極値となる光電信号波形を得る工程と、光電信号波形中の2つの極値波形の内側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいてマークの位置を決定する第1決定工程と、2つの極値波形の外側に存在する一対のスロープ波形部分に基づいてマークの位置を決定する第2決定工程と、2つの極値波形の内側と外側の両方に存在するスロープ波形部分に基づいてマークの位置を決定する第3決定工程と、

第1決定工程、第2決定工程、第3決定工程のうちいずれか1の工程を、基板の目標とするアライメント精度に応じて選択する工程とを設けるにようにした。

〔作用〕

本発明では、基本的に第2図に従って信号の波形処理を行う。

部分BW2もボトムレベルBT2まで落ち込むダウンスロープ部DSL2と、ボトムレベルBT2から立ち上がるアップスロープ部USL2とを有する。本発明では、マークMKの両エッジE1、E2の夫々に対応したボトム波形部分BW1、BW2のスロープ部DSL1、USL1、DSL2、USL2を選択的に使用することでマークMKの走査方向に関する中心位置を決定するようにした。

これら各スロープ部において、内側に存在するスロープ部とはアップスロープ部USL1とダウンスロープ部DSL2であり、外側に存在するスロープ部とはダウンスロープ部DSL1とアップスロープ部USL2である。

実際の処理においては、一方のボトム波形部分BW1で、ダウンスロープ部DSL1の肩の部分のピーク値とボトムレベルBT1との間を所定の比で(例えば50%)で分割するスライスレベルS1とスロープ部DSL1とが一致する走査位置P1、及びアップスロープ部USL1の肩の部分のピーク値とボトムレベルBT1との間を所定の

第2図(A)はウェハW上に形成された凸状のマークMKの断面構造を示し、表面にはレジスト層PRが一様に塗布されている。

第2図(B)は、マークMKの両端のエッジE1、E2を横切る様な走査線に沿ってマークMKの像をテレビカメラで撮像したときのビデオ信号VSの波形を示す。このビデオ信号VSは、マークMKの両端のエッジE1、E2の位置で極小値となるようなボトム波形部分BW1、BW2になる。ボトム波形部分BW1とBW2の間の波形レベルはマークMK自体の反射率によって変化し、ボトム波形部分BW1の左側の波形レベルと、ボトム波形部分BW2の右側の波形レベルとは、ウェハ下地の反射率によって変化する。

第2図(C)は2つのボトム波形部分BW1、BW2を拡大して示したもので、ボトム波形部分BW1は、走査が進行するにつれて、ボトムレベルBT1まで落ち込むダウンスロープ部DSL1と、ボトムレベルBT1から立ち上がるアップスロープ部USL1とを有する。同様にボトム波形

比で分割するスライスレベルS2とスロープ部USL1とが一致する走査位置P2を求める。

同様に他方のボトム波形部分BW2に対しても、ダウンスロープ部DSL2をスライスレベルS3で比較して求めた位置P3と、アップスロープ部USL2をスライスレベルS4で比較して求めた位置P4とを決定する。

従って、マークMKの中心位置Pmの算出は、基本的に以下の3つの式のいずれか1つに従って行われる。

$$P_m = (P_2 + P_3) / 2 \quad \cdots (1)$$

$$P_m = (P_1 + P_4) / 2 \quad \cdots (2)$$

$$P_m = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 \quad \cdots (3)$$

式(1)は内スロープ決定法、式(2)は外スロープ決定法、そして式(3)は両スロープ決定法の基本式である。

そして本発明においては、例えば実際のウェハをアライメントしたときの精度が最もよくなる決定法を選んで、ウェハのアライメントを実行する。

〔実施例〕

次に本発明の実施例による方法を実施するのに好適な投影露光装置の構成を第1図を参照にして説明する。

第1図において、レチクルR上のパターン領域PAの像は投影レンズPLを介してウェハW上に結像投影される。ウェハWはX、Y方向にステップアンドリピート法で移動するステージST上に載置され、ステージSTの座標位置は干渉計IFX、IFYで計測される。レチクルRは、パターン領域PAの両脇に設けられたレチクルアライメントマークRM1、RM2をレチクルアライメント顕微鏡RAS1、RAS2に対して位置決めすることで、装置(投影レンズPLの光軸)に対してアライメントされる。又パターン領域PAの周囲のストリートライン相当領域内には、ダイ・バイ・ダイアライメント用のマーク(窓)が形成されており、各マーク(窓)は、ウェハW上の1つのショット領域に付随したダイ・バイ・ダイ用のウェハマークとともに、TTR(スルーザレチクル)方式のアライメント顕微鏡DAS1、DAS

2、DAS3、DAS4によって検出される。

さて、本実施例による方法は、ここではウェハW上のマークのみをオフ・アクシス方式で検出するウェハアライメントセンサーに対して適用される。このウェハアライメントセンサーは、投影レンズPLの下部直近に配置されたミラー10、対物レンズ12、ビームスプリッタ14、結像レンズ16、共役指標板18、撮像レンズ20、及びCCD2次元撮像素子22によって構成される。さらにウェハW上のマーク領域を照明するために、ハロゲンランプ、光輝度多色LED等からの広帯域波長の光を導くオプティカルファイバー24、コンデンサーレンズ26、照明視野絞り28、レンズ系30、及び先のビームスプリッタ14とで構成された照明光学系が設けられる。

以上の構成において、ウェハWは対物レンズ12と結像レンズ12と結像レンズ16との合成系に関して指標板18と光学的に共役に配置され、指標板18とCCD22の受光面とは撮像用レンズ20に関して共役に配置される。

従ってCCD22は、ウェハW上のマークの拡大像と指標板18上の固定(参照)マークの拡大像とを同時に撮像する。また照明光学系のファイバー24の射出端面は2次光源像として、対物レンズ12とレンズ系30との間の瞳面(開口絞り位置)にリレーされ、ウェハWに対してケラ照明を行う。更に視野絞り28は対物レンズ12とレンズ系30との合成系によってウェハWと共役になっており、視野絞り28のアーチャ像がウェハWと共役になっており、視野絞り28のアーチャ像がウェハW上に投影されることになる。本実施例では、少なくとも対物レンズ12、結像レンズ16、撮像用レンズ20の夫々に対して色消しがなされており、色収差による結像特性の劣化を押さえている。

又、本実施例の装置では、ステージST上に基準マークFMが設けられ、ウェハアライメントセンサー内の指標板18上の指標マークのウェハWへの投影点と、レチクルR上のレチクルアライメントマークRM1、RM2あるいはダイ・バイ・

ダイ用のマークの投影点との間の距離(ベースライン)を計測するのに使われる。

次に第3図を参照して、第1図中のCCD22からのビデオ信号の処理回路について説明する。CCD22は2次元撮像素子であり、水平走査方向と垂直走査方向とに画素(ピクセル)が配列されるが、本実施例のCCD22では、ウェハW上のマークのエッジを横切る方向を水平走査方向に一致させるものとする。

さて、CCD22からは水平同期信号と垂直同期信号とが混合したコンポジットビデオ信号が得られる。このビデオ信号は、周波数フィルターやAGC等の前処理回路40を介してアナログーデジタル変換器(ADC)42に送られる。一方、CCD22からのビデオ信号は、同期信号分離回路やクロック発生回路等を含む制御回路44に送られる。この制御回路44はCCD22の水平同期信号に基づいて、1画素の電気走査(読み出し走査)あたり1つのクロックパルスとなるようなクロック信号SCLを出力する。このクロック信

号SCLは、CCD22の電氣的走査が1フレーム中でのサンプリング範囲(水平走査線の垂直方向の本数)になったか否かを検出する比較部46と、ADC42の出力データを記憶するためのメモリ(RAM)43に対してアドレス値を出力するアドレスカウンタ48とに送られる。従って、RAM43内には、CCD22の所定の水平走査線から指定された本数分だけのデジタル波形データが記憶される。RAM43内の波形データは、プロセッサ50によって管理されるアドレスバスA-BUSとデータバスD-BUSとによってプロセッサ50に読み込まれ、所定の波形処理演算が行われる。プロセッサ50のアドレスバスA-BUSとデータバスD-BUSには、ステージSTを制御するためのステージコントローラ52がつながれ、このコントローラ52は干渉計IFX、IFYの座標計測値を入力してステージSTの駆動モータ54を制御する。

次に、本実施例に好適なマーク形状や配置を第4図、第5図、第6図を参照にして説明する。

M3との間に存在する。

また、第5図は共役指標板18上の指標マークTL、TRの配置を示し、指標マークTL、TRの夫々は透明ガラス板の上にクロム層で形成された2本の細線からなる。アライメントの際は、2つの指標マークTL、TRの間にマークMDnを挟み込むようにステージSTを位置決めする。こうして得られるビデオ信号波形の一例を第7図に示す。

第7図(A)は指標マークTL、TRにウェハマークMDnを挟み込んだ様子を示し、ウェハマークMDnの中心C_ℓと指標マークTL、TRの中心C_tとがわずかにずれている。このずれ量を精密に算出するのが、第3図に示したプロセッサ50である。第7図(B)に示すように、CCD22の水平走査線SLに沿って得られるビデオ信号波形は、広帯域照明光を使ってレジスト層での干渉現象を低減させているため、各マークのエッジ位置でのみボトム(極小値)になる。第7図(B)で、指標マークTL、TRはそれぞれ微細

第4図はウェハW上のショット配列を示し、レチクルRのパターン領域PAの投影像はショット領域SAの夫々とアライメントされる。そして露光時には、各ショット領域SAの中心CCがレチクルRのパターン領域PAの中心と一致する中心CCで直行する中心線はウェハステージSTの干渉計で規定される直行座標系のX軸、Y軸と平行になる。

さて、各ショット領域SAにはダイ・バイ・ダイ用のウェハマークMD1、MD2、MD3、MD4が形成されている。本実施例では、このマークMD1~MD4をオフ・アクシス方式のウェハアライメントセンサー(10~30)で検出するものとする。各マークMDnは、第6図(A)に示すように、4本のバーマークBPM1、BPM2、BPM3、BPM4が同一間隔で平行に並んだマルチマークとする。また、第6図(B)に示すようにバーマークBPMnはウェハ下地に対して凸状に形成されているものとする。このマークMDnの中心C_ℓは、バーマークBPM2とBP

な2本のバーマークであるため、そのバーマーク1本について1つのボトム波形BL1、BL2、BR1、BR2になる。またウェハマークMDnの4本のバーマークBPM1~BPM4の各エッジ位置で、計8つのボトム波形WL1、WR1、WL2、WR2、WL3、WR3、WL4、WR4が得られる。

ところが、指標マークTL、TRの位置で現れるボトム波形と、ウェハマークMDnの各エッジ位置で現れるボトム波形とは、光学的な現象が全く異なっている。即ち指標マークTL、TRは、ウェハ表面で反射した照明光によって透過照明されるために、CCD22上では暗部として撮像される。これに対してウェハマークの各エッジは、照明光が対物レンズ12等の開口数(N.A.)よりも大きな角度で散乱されて、CCD22への結像光路内に戻ってこないために暗部(暗線)として撮像されるのである。

尚、第7図(B)の信号波形は、第7図(A)に示すように、N本の走査線SLに沿って得られ

た信号波形を垂直方向の画素列で加算平均したものである。この加算平均はプロセッサ50がRAM43からN本分の波形データを読み出して実行する。

次に本実施例のアライメント方法を説明するが、その前提として、いくつかのパラメータが予めプロセッサ50内に設定されているものとする。そのパラメータの代表的なものは以下の通りである。

- ①指標マークTLとTRの中心アドレス値ACC
- ②指標マークTLとTRのウェハ上での間隔Lt (μm)
- ③指標マークTL, TRの夫々の本数Kt
- ④ウェハマークMDnの本数Km
- ⑤指標マークTL, TRの中心アドレス値ACCからのポイント(番地)数HL, HR
- ⑥指標マークTL, TRの各処理幅のポイント(番地)数Pt
- ⑦ウェハマークMDnの中心アドレス値ACCからの処理幅のポイント(番地)数Pm

(ステップ100)

ここでは、RAM43に取り込まれたN本分の原波形データから任意の本数を選んで垂直方向に画素毎の加算平均を行い、1本の平均波形データを作る。作られた平均波形データはRAM43内に一時的に記憶される。

尚、加算平均すべき走査線は垂直方向に連続している必要はなく、1本おき、又は2本おきでもよい。

(ステップ102)

次にプロセッサ50は、平均波形データをスムージングする。このスムージングは平均波形データを数値フィルタに通すことによって行われる。

第9図(A)は、RAM43内の平均波形データの一例を示したもので、横軸はRAM43のアドレスポイント、縦軸はレベルを表す。この波形に対して第9図(B)のような数値フィルタFNaをかける。これによって平均波形データ中に存在する高周波成分が除去されたスムージング波

これらのパラメータのうち、ポイント数HL, HR, Pt, Pmの意味については第7図(A)中に図示してある。

また本実施例では、ウェハWのグローバルアライメントが完了した後に、ウェハアライメントセンサーを用いてよりファインな位置検出を行うことを前提としている。従ってグローバルアライメント後にウェハW上のショット配列の設計値のみに基づいてステージSTを位置決めして指標マークTL, TRとウェハマークMDnとを検出すると、グローバルアライメント時の残留誤差($\pm 1\mu\text{m}$ 以下)分、ショット配列の僅かな不規則性、又はウェハWの伸縮分等を含んだアライメント誤差 ΔX が存在する。このアライメント誤差 ΔX は第7図中に示した中心位置ClとCtの差である。

さて、プロセッサ50はCCD22で撮像された走査線N本分の波形データがRAM43に取り込まれると、第8図に示した手順で波形処理を実行する。そこで以下、第8図の各ステップに沿って説明する。

形データR(n)が得られる。この波形データR(n)もRAM43内に一時的に記憶される。

(ステップ104)

次にプロセッサ50は平均波形データを微分する。この微分は第9図(C)に示したように傾きが一定の数値フィルタFNBに平均波形データを通すことによって行われる。これによって第9図(A)のようなボトム波形は第9図(D)のような微分波形データP(n)になる。この微分波形データ上でボトム点となるアドレスポイントPXDは、平均波形データ(又はスムージング波形データ)上のダウンスロープ部DWSの中点位置と一致し、微分波形データ上でピーク点となるアドレスポイントPXUは、平均波形データ上でのアップスロープ部UPSの中点位置と一致している。

従って、微分処理を行うことによって、スムージング波形データ上での全てのスロープ位置が特定できることになる。尚、第9図(D)においてアドレスポイントPXDとPXUの間で微分波形

が零クロスする点は、第9図(A)の波形中でのボトム点に一致している。

〔ステップ106〕

次にプロセッサ50は、この微分波形データP(n)中の全てのピーク点とボトム点、及びそれらの位置を抽出する。この場合、第9図(D)に示すように、本来のボトム、ピーク以外の小さなボトム、ピークDup、Dubも抽出され得る。

〔ステップ108〕

そこでプロセッサ50は、これら小さなボトム、ピークDup、Dubは小さい順に切り捨てて、指標マークの本数Ktとウェハマークの本数Kmとに対応した数のボトム点とピーク点を選ぶ。

先の第7図に示したように、左右の指標マークTL、TRに対応した波形処理幅Pt内では、スムージング波形データR(n)上で2つのボトム波形が得られることが分かっている(指標マーク本数Kt=2)。従って、処理幅Pt内では、微分波形データP(n)上で2つのピーク点と2つのボトム点とが得られることになる。

右側の指標マークTRに対応したスムージング波形(BR1、BR2)上の各スロープ中心位置は、ダウンスロープRD(3)、RD(4)の2つと、アップスロープRU(3)、RU(4)の2つである。

同様に、4本のバーマークBPM1~BPM2の各エッジで生じたスムージング波形上の各スロープの中心位置は、ダウンスロープWD(1)~WD(8)とアップスロープWU(1)~WU(8)である。

ところで、ダウンスロープやアップスロープを特定する手法として、実際にはスムージング波形と微分波形との各コントラスト値(レベル)を用いてコントラストリミットを定め、そのリミット値に基づいてスムージング波形中の各スロープ位置を特定するのがよい。

第11図(A)は第10図(A)中のボトム波形WL1のみを拡大して示し、第11図(B)は第11図(A)の微分波形のみを拡大して示したものである。

まず微分波形データ中のボトム位置WD(1)に対応した微分レベル(コントラスト値)CWD

一方、ウェハマークMDnに対応した処理幅2Pm内ではスムージング波形データR(n)上で8つ(2Km)のボトム波形が得られることが分かっている。従って処理幅2Pm内では微分波形データP(n)上で8つのピーク点と8つのボトム点とが得られることになる。

以上の処理によって、スムージング波形データ上の各マークに対応したダウンスロープ部とアップスロープ部とが特定されたことになる。

第10図はその様子を表し、第10図(A)はスムージング波形データを表し、第10図(B)は微分波形データを表す。ここで第10図の横軸は、スムージング波形データのアドレスポイントを表し、微分波形データ上のピーク点、ボトム点に対応して、スムージング波形データ中の各スロープの中心位置が求められる。

左側の指標マークTLに対応したスムージング波形(BL1、BL2)上の各スロープ中心位置は、ダウンスロープRD(1)、RD(2)の2つと、アップスロープRU(1)、RU(2)の2つである。また

(1)の絶対値を求め、位置WD(1)に対応するスムージング波形中のレベルCDS(1)を求める。このレベルCDS(1)は位置CWD(1)で決まるダウンスロープ中のレベルよりも少し小さな値として取り込まれる。

次にプロセッサは、次式によってコントラスト値CVW(1)を算出する。

$$CVW(1) = A \cdot CDS(1) + B \cdot CWD(1)$$

同様に、微分波形データ中のピーク位置WU(1)に対応した微分レベルCWU(1)の絶対値を求め、さらに位置WU(1)に対するスムージング波形中のレベルCUS(1)を求める。

そして次式によってコントラスト値CVWu(1)を求める。

$$CVWu(1) = A \cdot CUS(1) + B \cdot CWU(1)$$

ここでA、Bは定数であるが、ノイズを区別する場合にはA=1、B=0.5程度に設定する。

以上の動作を、ウェハマークの信号処理範囲内で行うとともに、指標マークの信号波形に対しても全く同様に行う。

指標マークについては、第10図(A)中のボトム波形BL1を例にとると、その微分波形中のボトム位置はRD(1)、ピーク位置はRU(1)である。

そこで、位置RD(1)での微分波形中のレベル(ボトム)をCFD(1)、位置RU(1)での微分波形中のレベル(ピーク)をCFU(1)、そしてスムージング波形中のボトム波形BL1でのダウンスロープの中心付近のレベルをCDR(1)、アップスロープの中心付近のレベルをCUR(1)とすると、指標マークのコントラスト値CVRd(1)、CVRu(1)はそれぞれ以下のようにして求められる。

$$CVRd(1) = A \cdot CDR(1) + B \cdot CFD(1)$$

$$CVRu(1) = A \cdot CUR(1) + B \cdot CFU(1)$$

そしてプロセッサは指標マークに対するウェハマークのコントラスト比GGを次式によって求める。

$$GG = CVWd(1)/CVRd(1) \times 100(\%)$$

又は、

的な一例を第12図によって説明する。先ず第12図(A)のようにスムージング波形上の1つのボトム波形WL1のダウンスロープ位置WD(1)から一定のポイント数(アドレス)分だけ波形データを前後にサーチする。そしてダウンスロープ下部の最小値BTとダウンスロープの肩の部分の最大値SPdとを求め、第12図(B)に示すように最小値BTと最大値SPdとの間を所定の比率で分割するところにスライスレベルS1を決定する。

ここでその比率を α (%)とすると、スライスレベルS1は次式で演算される。

$$S1 = (SPd - BT) \times (\alpha / 100) + BT$$

次にこのスライスレベルS1と一致するダウンスロープ部のレベルの位置を求める。この際、スライスレベルS1と一致するレベルがサンプリング点の間に存在する場合は、直線補間等の手法で、交点位置SWD(1)を求める。この位置SWD(1)は、例えばアドレスポイントの間を1/10で補間した実数で表すものとする。

$$GG = CVWu(1)/CVRu(1) \times 100(\%)$$

そしてこのコントラスト比GGが所定の比以下になっている場合は、ウェハマークのエッジに対応したボトム波形ではないと判断していく。

(ステップ110)

次にプロセッサ50はスムージング波形中の各スロープ部を所定のスライスレベルと比較してその交点を求める。このステップ110は、場合によっては省略してもよい。それは、第10図のようにして求めたスムージング波形上の各スロープの中心位置をそのまま以後の処理に使えることもあるからである。

さて、このステップ110では先の第2図(C)で説明したように、各スロープ毎に最適なスライスレベルを決める。このスライスレベルの決定にあたっては、先に第10図で求めた指標マークのアップスロープ位置RU(1)~RU(4)、ダウンスロープ位置RD(1)~RD(4)、ウェハマークのアップスロープ位置WU(1)~WU(8)、ダウンスロープ位置WD(1)~WD(8)の夫々を使う。そこで具体

以上と同様にして、スムージング波形上のボトム波形WL1のアップスロープについても、位置WU(1)から前後にサーチ(ここでは最小値BTが分かっているので、サーチは一方のみでもよい)を行い、次式によってスライスレベルS2を決定する。

$$S2 = (SPu - BT) \times (\alpha / 100) + BT$$

そして、このスライスレベルS2と一致するアップスロープ部の位置SWU(1)を実数で算出する。

以下、同様にしてスムージング波形中の各ボトム波形について最適なスライスレベルを決めて、その交点位置SRU(1)~SRU(4)、SRD(1)~SRD(4)、SWU(1)~SWU(8)、SWD(1)~SWD(8)を求める。

(ステップ112)

次にプロセッサ50は、ウェハアライメントセンサーの光学系の倍率誤差等をキャンセルするために、CCD22の1画素(スムージング波形データのサンプリング間隔)がウェハ面上で何 μ mに相当するのかを算出して、その換算値UNT

(μm /ポイント)を実数で求めておく。ここでは、安定性の良い指標マークTL、TRの設計上の間隔Lt (μm)を用いるものとする。間隔Ltはウェハ面上の値として登録されているので、次式によって換算値UNTを演算する。尚、指標マークTL、TRはともにKt本(本実施例ではKt=2)とする。

$$\text{UNT} = \frac{2 K t \cdot L t}{\sum_{n=K t+1}^{K t+K t} \{SRU(n)+SRD(n)\} - \sum_{n=1}^{K t} \{SRU(n)+SRD(n)\}}$$

〔ステップ114〕

次にプロセッサ50は指標マークTLとTRの間の中心位置Ct (μm)を次式に基づいて実数で求める。

$$C t = \frac{\sum_{n=1}^{K t} \{SRU(n)+SRD(n)\}}{4 K t} \times \text{UNT}$$

〔ステップ116〕

ここでは予め指定された処理モードに従ってウェハマークの中心位置C ℓ の演算アルゴリズムを

クの中心位置C ℓ (μm)を実数で算出する。

ここで先の第10図を参照すると、ウェハマークの波形上の外スローブ位置は、SWD(1)、SWU(2)、SWD(3)、SWU(4)、SWD(5)、SWU(6)、SWD(7)、SWU(8)である。

従ってここでは次式に基づいて中心位置C ℓ を算出する。

$$C \ell = \frac{\sum_{n=1}^{K m} \left[\frac{1-(-1)^n}{2} \cdot \{SWD(n)+SWU(n+1)\} \right]}{2 K m} \times \text{UNT}$$

〔ステップ122〕

ここでは両スローブ検出法によってウェハマークの中心位置C ℓ (μm)を実数で算出する。

先の第10図から明らかなように、ウェハマークの波形上のダウンスローブ、アップスローブの全ての加算平均位置が中心C ℓ になるので、次式に基づいて演算される。

$$C \ell = \frac{\sum_{n=1}^{K m} \{SWD(n)+SWU(n)\}}{4 K m} \times \text{UNT}$$

選択する。このステップ116から次にどのステップ(118、120、122のいずれか)に進むかはオペレータによって指定されたり、或いはオートセットアップシステムによって自動的に切り換えられる。

〔ステップ118〕

ここでは内スローブ検出法によってウェハマークの中心位置C ℓ (μm)を実数で算出する。

ここで先の第10図を参照すると、ウェハマークの波形上の内スローブ位置は、SWU(1)、SWD(2)、SWU(3)、SWD(4)、SWU(5)、SWD(6)、SWU(7)、SWD(8)である。

従って、ここではウェハマークの本数をKm (本実施例ではKm=4)として、次式に基づいて中心位置C ℓ を算出する。

$$C \ell = \frac{\sum_{n=1}^{K m} \left[\frac{1-(-1)^n}{2} \cdot \{SWU(n)+SWD(n+1)\} \right]}{2 K m} \times \text{UNT}$$

〔ステップ120〕

ここでは外スローブ検出法によってウェハマー

〔ステップ124〕

次にプロセッサ50は、指標マークの中心位置Ctとウェハマークの中心位置C ℓ との差を算出してアライメント誤差 ΔA (μm)を決定する。

このアライメント誤差 ΔA は、RAM43にビデオ信号波形を取り込んだ時のウェハステージSTの残留アライメント誤差であり、以後のステージSTの位置決めにあたっては、グローバルアライメントによって決定されたステージ位置決め座標の設計値を ΔA だけオフセットさせればよい。

以上、本実施例の基本的なアライメント手順について説明したが、次に本実施例のステップ116でどの処理モードを選択するか決め方について一例を説明する。

通常、半導体ウェハ上にデバイスを形成する工程には、素子間の配線等の為のためにアルミニウム層を一様に蒸着する工程があり、ウェハ上の凹凸のアライメントマークはアルミ層で被覆された状態でアライメントセンサーで検出される。すなわちアルミ層そのものでできたマークを検出する

ことになる。

従ってマーク上にアルミ層がきれいに蒸着されずに非対称になった場合、マークの両端のエッジ部に対応したビデオ信号波形（ボトム波形）も非対称になる。第13図（A）はアルミ層A₂で被覆されたアライメントマークWMの断面構造を示し、CCD22で撮像され、テレビモニター上に映し出されたマーク像は第13図（B）に示すように、左右のエッジ部に生じる暗線の幅が互いに異なっている。

これは、第13図（A）に示すように、マークWMの左右のエッジ部でアルミ層A₂が非対称に蒸着しているからである。可視域の照明光を用いてこのマークWMを観察すると、通常はアルミ層A₂の表面しか見えない。そのためCCD22から出力されるビデオ信号波形は第13図（C）のようになり、左右のエッジ部に対応したボトム波形は互いに異なったものになる。

このような波形に対して本実施例の信号波形処理アルゴリズムを適用して、外スロープ位置SW

D（1）、SWU（2）と内スロープ位置SWU（1）、SWD（2）を求め、第8図のステップ122で両スロープ検出法を選ぶと、第13図のマークWMの中心位置C₂は次式で得られる。

$$C_2 = \{SWD(1) + SWU(2) + SWU(1) + SWD(2)\} / 4$$

ところが、このような非対称性の強いマークを両スロープ検出法で検出してアライメントしても、その精度が必ずしも十分に得られないことが実験により確かめられた。

この原因は、1つにはアライメント（重ね合わせ）精度を調べるバーニアに問題がある。

バーニアによる重ね合わせ精度の検査には、予めウェハ上に形成されたバーニア主尺に対してレチクル上のバーニア副尺を、アライメントセンサーを使って位置決めして、重ね焼きするものであり、その重ね焼きによって作られたバーニアのずれ量を読むことで、アライメント精度が判定できる。

従来、この検査はステッパーを用いて重ね焼きされたウェハを現像した後、レジストで形成され

たバーニア副尺と下地のバーニア主尺とを別の光学顕微鏡等で観察してバーニアのずれ量を目視で読み取っている。

第14図（A）、（B）と第15図（A）、（B）はアルミ層におけるバーニアの一例を示し、第14図（A）、（B）はバーニア主尺WBMの上のレジスト層PRにバーニア副尺WBSをぬきで形成する場合であり、第15図（A）、（B）はバーニア主尺WBMの両脇のレジスト層PRに2本のバーニア副尺WBSをぬきで形成する場合である。

ここではバーニア主尺WBMが非対称になっているものとする。

目視でこれらバーニアを計測する場合、レジストによる副尺WBSのエッジ部と、それに隣接した主尺のエッジ部の距離a、bを読み取り、その距離が目測で等しくなっている位置をアライメント精度としている。

具体的には、第16図に示すように主尺WBMを計測方向に一定ピッチで作っておき、これに重

ね焼きされる副尺WBSは主尺WBMのピッチに対して例えば0.02μmだけ大きなピッチにしておく。理想的にアライメントされていれば、バーニアに付随して表示された数値の0のところで主尺WBMと副尺WBSとが中心同志で重なる。第16図の場合、主尺WBMと副尺WBSとが中心同志で重なっているのは、数値-0.2の位置であるので、アライメント精度としては-0.02μmが得られていることになる。尚、第16図は第14図に示した方式のバーニアパターンであるが、第15図に示した方式でも同様である。

さて、第14図のバーニア形式の場合、距離a、bを規定する主尺WBM上のエッジ位置は、第13図（C）の波形上に対応させると内スロープ位置SWU（1）、SWD（2）になる。

一方、第15図のバーニア形式の場合は、距離a、bを規定する主尺WBM上のエッジ位置は第13図（C）の波形上に対応させると外スロープ位置SWD（1）、SWU（2）になる。

即ち、アライメント精度をチェックしたときの

バーニアの形式によって、実際のアライメント時には内スローブ検出法を使うか外スローブ検出法を使うかを選択しなければならないことになる。

従って、第14図(第16図)のバーニア形状でアライメントチェックする場合は内スローブ検出法(第8図のステップ118)を選択し、第15図のバーニア形式では外スローブ検出法(第8図のステップ120)を選択すればよい。

このようにすると、目視でバーニア計測したアライメント精度と、ウェハアライメントセンサーで検出されたアライメント誤差との対応付けが正確になる。

ところで、プロセスによってはアルミ層A_ℓの下にマークWMに対してアライメントを行うこともある。この場合、マークWMの上のアルミ層A_ℓがどの程度非対称に形成されているかが特定し難い。そこでマーク断面構造を調べることにによって、その非対称性を確認したら、非対称性の程度に応じて内スローブ検出法に重み付けするか、外スローブ検出法に重み付けするかを自動的に選ぶ

介して目視観察すると、その位置での非対称性が例えば第17図のように認識できる。

第17図はウェハ中心をほぼ原点としたショット配列座標XY上の周囲4ヵ所のショットの位置を示したもので、各ショットには、X方向アライメント用とY方向アライメント用の各マークが設けられている。座標系XY上でY軸方向に離れた位置する2つのショットについては、Y方向アライメント用のマークMD_yを観察し、X軸方向に離れた2つのショットについては、X方向のアライメント用のマークMD_xを観察する。

この際、各マークをCCD22で撮像した信号波形を処理して、マークエッジ部でのボトム波形の幅、すなわち、第13図(C)で示した位置SWD(1)とSWU(1)との差、及び位置SWD(2)とSWU(2)との差を求める。これによって、その差の大きい方のエッジに非対称性が強く生じていることがわかる。この非対称性の量ΔUは次式によって定量的に求めることができる。

ようにする。例えば第13図(C)のようなシングルマークの波形に対しては次式によってマーク中心位置C_ℓを決定する。

$$C_{\ell} = \frac{A \{SWD(1)+SWU(2)\} + B \{SWU(1)+SWD(2)\}}{2(A+B)}$$

この式は両スローブ検出法の演算式を変更して重み付けの定数A、Bを入れたものであり、定数A、Bは次の条件を同時に満たしていればよい。

$$0 < A < 2, \quad 0 < B < 2, \quad A + B = 2$$

ここで重み付け定数A、Bをとともに1にしたときが両スローブ検出法である。

尚、マーク断面構造を調べる方法としては、走査型電子顕微鏡(SEM)測長器、超音波顕微鏡を使う方法、赤外域のレーザスポットや照明光等のアルミ層A_ℓを透過し得る光を使って光学的に計測する方法等が考えられる。

ところで、アルミ層A_ℓを蒸着したときの非対称性は、ウェハ中心から当方的に広がっていく傾向があり、ウェハ上の周辺に位置するショット(チップ)のマークをウェハアライメントセンサーを

$$\Delta U = \frac{\{SWD(1)+SWU(2)\} - \{SWU(1)+SWD(2)\}}{2}$$

このことから、ウェハの周辺のいくつかのショットのマークを検出して、その位置での非対称量ΔUを求めると、アルミ層蒸着時における非対称性をウェハ全面でおおむね特定することができる。

そこで第1図に示したように、レチクルR上のダイ・バイ・ダイマークとウェハW上の1ショット分のマークとをTTRアライメント系DAS1~DAS4で検出するシステムを備えたステッパーにおいては、TTRアライメント系でアライメントされるウェハマークの位置を、マークの非対称性に応じて補正することが可能となる。

ここで、TTRアライメント系の1つの例として特開昭63-283129号公報に開示された干渉アライメント方式を考えてみる。

第18図は、特開昭63-283129号公報に開示された系とは若干異なるが、原理的には同じ干渉アライメント方式を説明する概略図である。

レチクルR上には、ダイ・バイ・ダイマークと

して透明窓内の2ヵ所に回折格子Gr1, Gr2が格子ピッチ方向に離れて設けられ、露光光と異なる波長の2本のレーザビームLf1, Lf2の夫々が、格子Gr1, Gr2を斜めに照射する。ビームLf1, Lf2の主光線はレチクルRの上方空間で交差しており、その交点とレチクルRとの光軸方向の間隔は、ビームLf1, Lf2の波長における投影レンズの軸上色収差量に対応している。レチクルR上の格子Gr1, Gr2の横の透明部を透過したビームLf1, Lf2は投影レンズを介してウェハW上で交差する。その交差領域には、ウェハW上の回折格子Gwと平行に一次元の干渉縞が作られる。ウェハWの格子Gwからは±1次回折光が干渉した干渉光BTLが垂直に発生し、この干渉光BTLは投影レンズを逆進して、レチクルRの透明窓内の中央を通して光電変換される。ここで2本のビームLf1, Lf2にわずかな周波数差 Δf を与えると、ウェハWの格子Gw上に形成される干渉縞はその周波数差 Δf に応じた速度で流れ、干渉光BTLの光電検出信

号(計測信号)は周波数 Δf で正弦波状に変化する交流信号となる。

一方、レチクルRの格子Gr1, Gr2からは送光ビームLf1, Lf2と逆向きに±1次回折光DL1, DL2を発生させるようにし、これら±1次回折光DL1, DL2を干渉させた干渉光を光電検出して、参照信号を作る。

この参照信号も周波数 Δf で正弦波状に変化する交流信号となり、参照信号と計測信号との位相差 $\Delta\phi$ (±180°以内)が、レチクルRの格子Gr1, Gr2とウェハWの格子Gwとのピッチ方向のずれ量になる。このように2本のビームLf1, Lf2に周波数差 Δf を与える方式は特にヘテロダイン干渉アライメント方式と呼ばれ、格子Gwのピッチを4 μ m程度(2 μ m幅のライン・アンドスペース)にすると、最大位相差±180°が±1 μ mに対応することから、位相差計測分解能として±2°が得られるものとして、約±0.01 μ mの位置ずれ検出能力が得られる。

さて、このような高精度、高分解能のTTRア

ライメントセンサーを用いた場合、ウェハW上の格子マークGwの各格子要素に非対称性が生じていると、当然のことながらマーク位置検出結果に誤差(オフセット)が含まれてしまう。そこで、次に、この種のTTRアライメント系で問題となるマークの非対称性を、広帯域照明光を用いたウェハアライメントセンサーによって推定してオフセット補正する方法を説明する。

第19図(A)はウェハW上の格子マークGwの断面形状を示し、各格子要素の右側のエッジがだれている。このため、第18図に示したTTRアライメント方式を使い、干渉縞IFを流してヘテロダイン検出で格子マークGwを検出し、レチクルRの格子Gr1, Gr2とのアライメントを行っても、個々の格子要素の非対称性の量を平均化したようなオフセットが残留する。

そこで先の実施例と同様にして、CCD22で格子マークGwを撮像する。このときCCDの水平走査方向を格子マークGwのピッチ方向と平行にする。これによって、CCD22からのビデオ

信号波形は第19図(B)に示すように、各格子要素の両側のエッジ部で非対称なボトム波形となる。そして、第13図で説明したように、各ボトム波形からダウンスロープ位置SWD(n)とアップスロープ位置SWU(n)とを求め、さらに各格子要素毎に非対称性量 $\Delta U(n)$ を算出して平均化すると、格子マークGw全体としての非対称性量がわかる。従って、ダイ・バイ・ダイアライメント時には、この算出量に基づいて、TTRアライメント系でのマーク位置検出結果にオフセットをのせてアライメントを行うと、単一波長の照明ビームを用いたTTRアライメント系であっても、マーク非対称性による誤差を低減させることができる。

次に、信号処理のアルゴリズム上、アライメントマークのエッジ部から明確なボトム波形がでない場合について、第20図を参照にして説明する。

第20図(A)はウェハ上のマルチマークMD(凸部)の反射率が周囲の反射率と比べて極端に異なる場合を示し、このときの信号波形はマーク

と下地とのコントラスト差に応じた波形形状になる。

第20図(B)はマルチマークMDのライン・アンド・スペースのデューティを50%以外の値にした場合で、隣接する凸状のバーマークのライン幅が狭いと、左右のエッジでのボトム波形が分離せずに単一のボトム波形になってしまう。

また第20図(C)はマルチマークMDの各バーマークを正方形のドットで構成して格子にした場合を示し、この場合もエッジ部では明確なボトム波形が得られず、短形波状になる。

これら第20図の場合は何れも内スローブ検出法が利用できず、外スローブ検出法のみを利用することになる。先の実施例で説明した通り、アルゴリズム上の動作として、ウェハマーク本数 K_m が予め設定されていて、信号波形上で一定のコントラストを持ったボトム波形が $2K_m$ 個だけ得られるものとしているから、マークエッジ部で明確なボトム波形が発生しない場合は、アルゴリズム(演算)上でエラーを起こし易くなる。

一定距離はエッジでの正常なボトム波形の幅と同程度、若しくはそれよりも少し長めにしておく。

〔ステップ204〕

次にプロセッサはコントラスト値 CV_L と CV_R との差を計算し、その差値が一定の値 GC 以上であるか否かを判断する。

第22図中の最初のボトム波形はマークエッジ部のみに対応した正常なものであるため、コントラスト値 CV_L と CV_R の差値はそれ程大きくなり、ステップ206に進む。

〔ステップ206〕

ここではカウンタ FN の内容をインクリメント(+1)する。

〔ステップ208〕

プロセッサは全てのダウンスローブ位置 $SWD(n)$ についてチェックしたかどうかを判断し、チェックが終わっていなければ、次のダウンスローブに対して同様の処理をすべくステップ202へ飛ぶ。

〔ステップ210〕

そこで第8図に示したフローチャート上に、コントラスト判定ルーチンを付加して、第20図のような信号波形になったときには自動的に第8図中のステップ120を選択するようにする。

第21図は、そのコントラスト判定ルーチンの一例を示すフローチャートであって、第8図中のステップ116の代わりに実行される。

以下、第21図の各ステップを説明する。

〔ステップ200〕

ここではプロセッサの内部カウンタ(ソフトウェアカウンタ) FN に零をセットする。このカウンタ FN は第20図のような波形と第10図のような正常な波形とを区別するためのものである。

〔ステップ202〕

ここでは、例えば第22図のような波形が得られたものとして説明する。

まず、第22図の波形で、ダウンスローブ位置 $SWD(n)$ 、又は $WD(n)$ が求まっているので、そこから左右に一定距離の位置でのコントラスト値(レベル) CV_L と CV_R を求める。この

ここでプロセッサはカウンタ FN の内容が零のままだったか否かを判断する。カウンタ FN は、第22図中のダウンスローブ位置 $SWD(2)$ のような状態、即ち位置 $SWD(2)$ の前後のコントラスト値 CV_L 、 CV_R の差が値 GC よりも大きくなる場合には、インクリメントされない。このためカウンタ FN が零であることは、信号波形が第20図の場合を意味し、プロセッサは自動的(強制的)に外スローブ検出のためのステップ120を実行する。

〔ステップ212〕

またカウンタ FN が零でないときは、そのカウント値とウェハマーク本数 K_m とを比較し、一致していないときは、その信号波形が第22図の場合であると判断して内スローブ検出のためのステップ118を実行する。

さらにカウンタ FN の値がマーク本数 K_m と等しいときには、全てのマークエッジ部に対応して正常にボトム波形が発生したものと判断し、予めユーザ(オペレータ)から指定された処理モード

(3つのスローブ検出方法のうち何れか1つ)を実行する。

以上により、第20図のような信号波形が得られる場合にも、アルゴリズム上でエラーなく処理することができる。しかしながら第20図のマークのときは、外スローブ検出法でのみ処理されるので、先の第14図、第15図で説明したように、バーニア形状に基づいて非対称性を考慮すると内スローブ検出法が最適であることが分かったとしても、それに対応することができないことになる。例えば、第20図(C)又は(B)に示したように、1本の凸状バーマークの幅が狭いマルチマークの場合、バーニア形状による非対称性の影響の違いは顕著に現れる。

従ってこのような場合には、凸状バーマークを凹状バーマークに変えることによって、バーニア形状に基づいて決定される最適なスローブ検出法を利用することができる。

尚、先の第20図(B)に示すようなライン・アンド・スペースのマルチマークの場合、1本の

物レンズ12)の開口数(N.A.)を大きくすることも可能であるが、そうすると実用的な焦点深度が得られなくなる。そこで対物レンズ12を投影レンズPLの開口数の半分程度、例えばN.A.=0.2~0.3程度にする。さらにウェハ面から共役指標板18までの光学系(12、16)と指標板18からCCD22までの光学系(20)とによって決まるトータルの結像倍率を30~50倍程度にする。このようにすると、実用的なマルチマークのライン・アンド・スペースを4 μ m(ピッチ8 μ m)にした時、マークエッジ部に対応したビデオ信号波形上のボトム波形に山割れが生じない。山割れとは、第23図(A)に示すような凸状バーマークの断面を考えたとき、ボトムエッジ(外エッジ)BE1、BE2とトップエッジ(内エッジ)TE1、TE2の夫々が第23図(B)のようにボトム波形BWB1、BWB2、BWT1、BWT2となって分離してしまう現象である。これは、ボトムエッジBE1(BE2)とトップエッジTE1(TE2)との間のエッジ

バーマークに対して1つのボトム波形しか生じないので、ライン・アンド・スペースのデューティ比を変えていって、1本のバーマークの両側のエッジで分離したボトム波形が得られるようにしてもよい。この手法は、第19図で示した干渉アライメント方式用のウェハ格子マークGwに対して実施すると効果的である。干渉アライメント方式では、格子マークGwのピッチを小さくするとそれだけ高分解能になる。ところが、CCD22を用いたウェハアライメントセンサーでは格子マークGwのピッチが小さくなると、ビデオ信号の波形が第20図(A)のようになって、さらにコントラストが悪くなってくる。そこで格子マークGwのピッチは変えずにデューティ比を変えることで、ビデオ信号の波形を極力第19図(B)、又は第20図(B)のようにすることができる。

本実施例の装置では、ウェハマークの観察用の照明光が広帯域であることから、レジスト層による干渉現象が皆無となる。従って、解像力(倍率)を上げるためにCCD22までの光学系(対

物)に、照明光1Lが垂直方向から照射されたとしても、対物レンズ12の開口数が大きくて倍率が高いと、そのテーパ部からの散乱光DFLがCCD22まで戻ってくるからである。

従って、第23図(B)のビデオ信号をテレビモニターに供給して画面上で観察すると、バーマークのエッジ部が2本の細い黒線になって見える。

このように山割れを起こした信号波形を処理すると、分離したボトム波形BWB1とBWT1とを2つのエッジと誤認識することもある。

本実施例の装置では、このような山割れが生じないように、プロセス上のウェハマークの形状変化を経験的に考慮して、対物レンズ12の開口数を0.2~0.3、CCD22までの倍率を30~50と比較的小さく定めている。さらにCCD22のセルサイズ(セルピッチ)はウェハ面換算で0.2 μ m~0.3 μ m程度である。

次に、本発明の第2の実施例による装置構成を第24図、第25図を参照して説明する。本実施例では共役指標板18、CCD22の構成、及び

ウェハマークのアライメントの仕方が先の実施例と異なる。第24図はウェハW上のX方向マークとY方向マークとを共通の光学系を介して検出する場合の系を示し、第1図と異なる点は、指標板18上にX方向用とY方向用の2組の指標マーク群が形成され、結像レンズ系20の後にビームスプリッタ21を設けて結像光束を2つに分岐し、その分割された結像光束の夫々を受光する2つのCCD22X、22Yを設けることである。ただし2つのCCD22X、22Yは矢印で示したように水平走査方向が互いに90°になるように設定されている。

さらに共役指標板18は、第25図に示すようにX方向用には、指標マーク群TLA、TRA、TLB、TRBを含む領域VPBxと、その上方の透明領域VPAxと、目視用マークVCMxとを有し、Y方向用には同様に指標マーク群TLA、TRA、TLB、TRBと目視用マークVCMyとを有する。

CCD22Xは、領域VPAxとVPBx、及

びマークVCMxをカバーするとともに、Y方向用の指標マークTRA、TLAが写り込まないような撮像範囲を有する。CCD22Yについても同様である。本実施例では、共役指標板18、結像レンズ系20までの系がX、Y用に共用されているために、ウェハ面を観察するミラー10、対物レンズ12も1ヵ所に配置するだけでよい。

尚、X方向用とY方向用のアライメント光学系を対物レンズから別個に配置する場合は、当然のことながら共役指標板18もX方向用とY方向用とで別体になる。

さて、第25図に示した共役指標マーク群のうち内側の指標マークTLAとTRAは、一例として4μm幅のバーマークを4μmのスペースで7本配置したマルチマークを挟み込めるように作られている。このため、マルチマークでないシングルマークを検出する場合等は、各指標マークTRA、TLAの下にくるウェハ面はマークやパターンの禁止領域にならざるを得ない。すなわち、ウェハマークの形成領域をストリートライン上で広

く定めておかねばならず、デバイス製造上に制約を与えることになる。

そこで本実施例では、X方向用のシングルマークの検出時には、第25図の右側の指標マークTRAとTRBの間にシングルマークを挟み込むようにして、指標マークTRAとTRBを含むビデオ信号波形部分のみを処理する。

また幅の広いマークに対しては指標マークTLBとTRBを用いてもよい。

具体的には第26図に示すように、シングルマークWDに対しては指標マークTRA、TRBで挟み込み、n本の走査線のビデオ信号を加算平均した波形から、予めパラメータとして与えられている指標マーク処理範囲R-L、R-Rの波形部分と、その間のウェハマーク処理範囲W-Aの波形部分とを選び、先の第1の実施例と同様に信号波形すればよい。また全体として幅が広くなるマルチマークについては、第27図に示すように外側の指標マークTLB、TRBを用いるように指標マーク処理範囲R-L、R-Rを設定し、内側

の指標マークTLA、TRAに重なっているウェハマークの波形部分は除外されるようにウェハマーク処理範囲W-Aを設定する。これら処理範囲の設定は使用するマーク形状寸法等を事前に登録することによって自動的に行われる。

また、登録したマーク形状によっては、使用すべき指標マークと重なることもあるので、ウェハグローバルアライメント後に特定されたウェハマーク位置を故意にX、Y方向（計測方向）にシフトさせて、指標マークと重ならないようにすることもできる。

次に第3の実施例について説明するが、ここでは第1図に示したオフ・アクシス方式のウェハアライメントセンサーを、ウェハのグローバルアライメントに利用する場合について説明する。

一般に、この種のステッパーでは、ウェハのオリエンテーションフラットを検出して機械的にウェハを位置決めして（ブリアライメント）してステージST上に載置するが、その状態では20μm～100μm程度のブリアライメント誤差が存

在する。グローバルアライメントは、そのブリアライメント誤差を見込んでウェハ上のグローバルアライメント用のマークをサーチし、ウェハ上の実際のショット配列と設計上のショット配列とを $\pm 1 \mu\text{m}$ 程度の誤差範囲内に対応付ける作業である。従ってCCDカメラを用いてグローバルアライメントする場合、設計値でステージSTを位置決めしても、ブリアライメント誤差が大きいとCCDカメラの撮像範囲内にグローバルマークが存在しないことも起こり得る。

そこで、CCDカメラでウェハ面を撮像して、ウェハWをグローバルアライメントする場合には、ウェハ面をCCDで観察してはウェハを一定量ずらしていくグローバル・サーチが必要となる。そのために、第25図に示した指標板18の透明領域VPAx（又はVPAy）を用いる。この領域VPAxはCCD22Xの撮像面上の予め定められた位置に存在するから、領域VPAxを走査する走査線の位置や本数も予めわかっている。またウェハ上のグローバルマークWGMが第28図の

ようにストリートラインSAL内に形成されているものとする。

このグローバルマークWGMはストリートラインSALの伸びるY方向に沿って平行に並べられた3本の格子状マークから成り、ストリートラインSALの左側のチップ領域CPAから1本目の格子状マークまでの距離はa、右側のチップ領域CPAから3本目の格子状マークまでの距離はdである。さらに3本の格子状マークの間隔はそれぞれb、cである。

ここで設計値に従ってウェハステージSTを最初に位置決めしたとき、指標板18の透明領域VPAxが第28図のように主に左側のチップ領域CPAにかかり、グローバルマークWGMの1本目と2本目までを取り込んでいるものとする。このとき、領域VPAx内の走査線の複数本に対応したビデオ信号を加算平均すると、第29図（A）のような波形データがメモリ上に記憶される。

次にこの最初に取り込んだ波形データを解析して、グローバルマークWGAかどうかを認識する。

認識のアルゴリズムとしては、例えば特開昭60-114914号公報に開示された手法が応用できる。

すなわち、第28図中に示したマークWGMの設計上の配置関係（間隔a、b、c、d）に最も近い状態の波形位置を捜し出す。

通常は、第29図（A）の最初に取り込んだ波形データ中にマークWGMの3本が同時に入ってくるが、ブリアライメント誤差が極端に大きくなってくると、第28図のように領域VPAxがマークWGMの3本目までをカバーしなくなる。

そこで、プロセッサは、ウェハステージSTをX方向に一定量だけシフトさせた後、CCDカメラからのビデオ信号波形をメモリ上に取り込む。このとき領域VPAxは第28図中の右側に最初の部分と一部重複するようにシフトする。右側にシフトした領域VPAxから得られるビデオ信号の加算平均した波形は第29図（B）のようになる。この第29図で領域VPAxのX方向の重複範囲はDBAであり、この長さはステージSTの

干渉計IFXによって正確に設定され得るが、範囲DBAはマークWGAのX方向の幅（約b+c）よりも少し大きくなるように定めるとよい。

次に、プロセッサは、1回目に取り込んだビデオ信号波形の重複範囲DBAのコントラスト値CVaと、2回目に取り込んだビデオ信号波形の重複範囲DBAのコントラスト値CVbとを比較する。

一般にCCDカメラでは、画面内の平均輝度が増加するとAGC（オートゲインコントロール）が働き、そのため重複範囲DBAでは2つの波形部分のコントラスト値CVa、CVbが増加することもある。

そこで2つのコントラスト値CVaとCVbが大きく異なるときは、それらがほぼ等しくなるように、1回目と2回目のビデオ信号波形のうちいずれか一方のゲインを演算により補償した後、2つのビデオ信号波形を重複範囲DBAでは平均化して継ぎ合わせる。この動作はメモリ上のデータをプロセッサが演算することで行われる。

このように領域VPAxを相対的にX方向にシフトさせてビデオ信号波形の継ぎ合わせを行っていけば、CCDカメラの1画面よりもはるかに広い領域からの連続したビデオ信号波形データがメモリ上に記憶される。このため、ストリートラインSAL内のグローバルマークWGMをデザインルール(間隔a, b, c, d)に基づいて捜し出すことができる。

以上グローバルマークWGMのサーチは、3本のマークが認識されればそれで終了し、引き続いてグローバルファインアライメントに移行する。このグローバルファインにはいくつかの変形例があり、大別すると本実施例で用いたCCDカメラによるウェハアライメントセンサーをそのまま利用する方式と、ファインアライメント用に別設されたアライメントセンサーを利用する方式とがある。

CCDカメラによるウェハアライメントセンサーを利用する場合は、ウェハステージSTを移動させて、指標板18中の領域VPBx(第25

図)内にグローバルマークWGMを配置してビデオ信号波形を取り込む。そして指標マークTLAとTRAとの挟み込み、或いはマークWGMの2本目(シングルマーク)を指標マークTRAとTRBに挟み込むことによって精密にアライメントを行う。

また、別設したファイングローバルセンサーを使う場合は、マークWGMの2本目のみをただちに検出し、そのセンサーの検出中心と2本目のマーク中心とが一致するステージSTの座標値を計測すればよい。

次に第4の実施例について説明する。ここでは第1図に示したオフ・アクシス方式のウェハアライメントセンサーをE. G. A(エンハンスト・グローバル・アライメント)に利用する場合について説明する。

E. G. Aについては、詳しくは特開昭61-44429号公報、又は、特開昭62-84516号公報に開示されているので、ここでは詳細な演算方法についての説明は省略する。

第30図はウェハ上のショット配列のうち、E. G. A方式でサンプルアライメントされるショットS1~S8のみを示したものである。従来、E. G. A方式は前提としてウェハのX, Y, θ 方向のグローバルアライメントが完了した後にショットS1~S8のサンプルアライメントが完了した後にショットS1~S8のサンプルアライメントを実行していた。

本実施例では、 θ 方向のグローバルアライメント機能をE. G. Aのシーケンス中に取り込むようにして、スループットの向上を計るようにした。通常のE. G. Aでは、ショットS1~S8の順に次々に、各ショットのX方向マークとY方向マークとを検出して、各ショットの中心座標値を計測しているが、本実施例では、最初の2ショットについては、ウェハ上ではほぼ点対称の関係にあるもの同志をサンプルアライメントする。具体的には第30図中でX方向に並んだショットS3とS7の2つ、あるいはY方向に並んだショットS1とS5の2つである。

そして2つのショットについてサンプルアライメントが完了した時点で、ウェハ(ショット配列)全体のXY座標系に対する回転量 $\Delta\theta$ を算出する。そしてこの回転量 $\Delta\theta$ が、E. G. A方式での総合アライメント精度を低下させる程に大きいときは、ウェハステージST上のウェハホルダーを $\Delta\theta$ だけ逆方向に微小回転させる。

その後、再び2つのショットをサンプルアライメントして、回転量 $\Delta\theta$ が十分小さくなったことを確認したら、残りのショットをサンプルアライメントしてE. G. Aの演算に入る。

以上のサンプルアライメントには、第1図等に示したウェハアライメントセンサーが使われ、広帯域照明光のもとでマルチマークを撮像するため、レジスト層による干渉現象がなく、安定したマーク位置計測が可能となる。マーク位置計測にあたっては、指標マークTL, TRの中心Ctとウェハマークの中心Clとのずれ量 Δx , Δy を求めるとともに、そのときのステージSTの停止座標値を干渉計IFX, IFYから読み取って記憶す

ればよい。

以上、本発明の各実施例では、ウェハ上のレジスト層の影響を考えて、広帯域照明光を用いたマーク像検出のアライメントセンサーを利用することに主眼をおいて説明してきた。ところが近年、ウェハのマーク部分のレジスト層のみを予め剝離しておく手法が提案されている。この場合は、マーク照明光が広帯域である必要性はなく、レーザ光のような単一波長の照明光を用いたアライメントセンサーでもよいことになる。本発明は、そのような単一波長の照明光を使ったアライメントセンサーから得られたビデオ信号や光電信号の波形を解析する場合にも全く同様に適用できる。その際、マーク部分のレジスト層が除去されているなら、信号波形は各実施例で示したように、マークエッジでボトム（又はピーク）となるようなシンブルな波形となり、マークの非対称性の影響についても同様に対応することができる。

〔発明の効果〕

以上本発明によるアライメント方法によれば、

するためのマーク断面と信号波形を示す図、第3図はCCDカメラの信号処理系の構成を示すブロック図、第4図はウェハ上のショット配列とマーク配置を示す平面図、第5図は指標板上のマーク配置を示す平面図、第6図(A)、(B)はウェハマークの形状と断面構造とを示す図、第7図(A)、(B)は指標マークとウェハマークとのアライメント時の配置とCCDカメラからのビデオ信号の波形とを示す図、第8図は本発明の実施例による方法に従ったアライメント処理の手順を示すフローチャート図、第9図(A)、(B)、(C)、(D)、第10図(A)、(B)、第11図(A)、(B)、第12図(A)、(B)は、第8図の処理の過程で演算される信号波形データの様子を示す波形図、第13図(A)、(B)、(C)は非対称なマークの構造とその信号波形とを示す図、第14図、第15図はそれぞれバーニア形状の違いを説明する図、第16図はバーニアの読み方を説明する図、第17図は周辺のショットで非対称になるマークの様子を示すウェハ平面

マーク信号波形中のボトム部分のアップスロープ位置とダウンスロープ位置とを使い分けるようにしたため、マーク中心位置の計測精度を実際のデバイス製造時の重ね合わせ精度に近似させることができる。さらにマーク波形中のボトム波形の非対称性をチェックすることができるので、ウェハプロセスによってマークの変形を受け易い層（アルミ層等）の重ね合わせ精度をより向上させることができる。

また本発明は近年開発が進められているSOR X線露光装置用のアライメント方式としても同様に利用できるが、X線露光ではマスクとウェハとが所定のギャップで近接するため、マスクのマークとウェハのマークとを同時に検出できるように2焦点化素子を加えた対物レンズ系等を用意するとよい。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例による方法を実施するのに好適なステッパーの構成を示す斜視図、第2図(A)、(B)、(C)は本発明の原理を説明

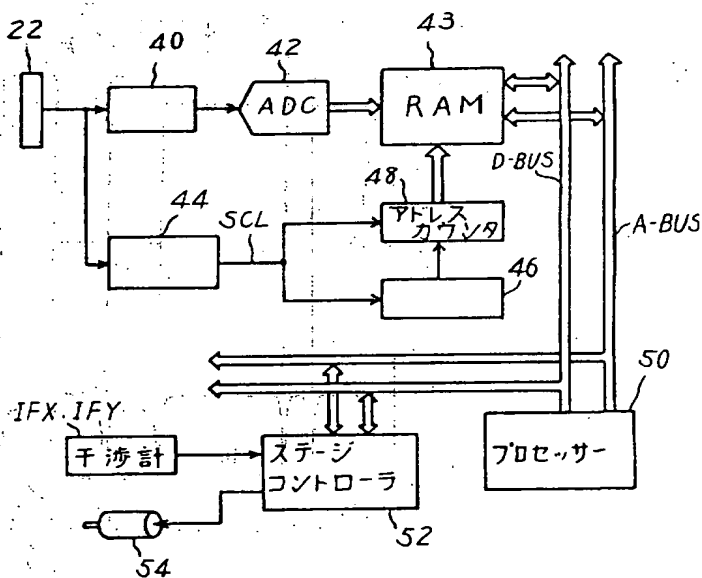
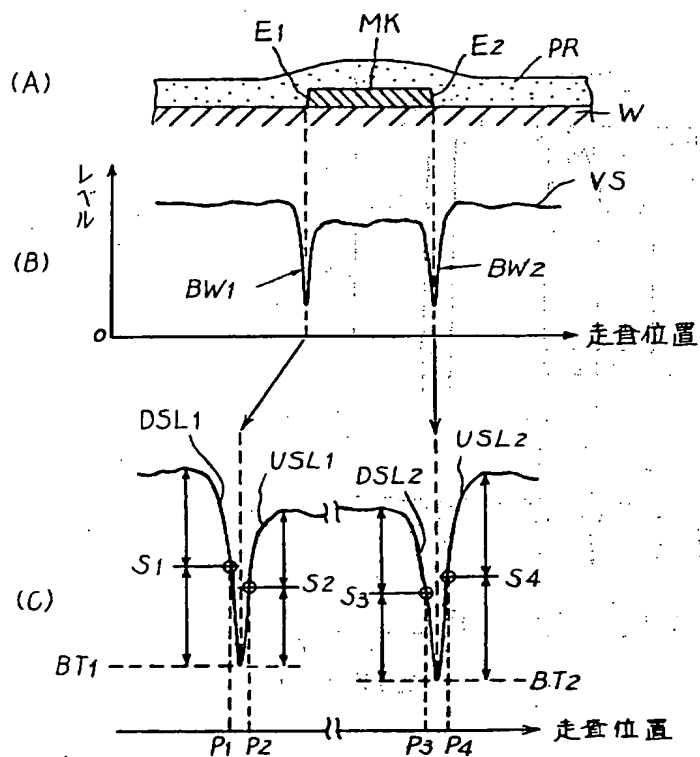
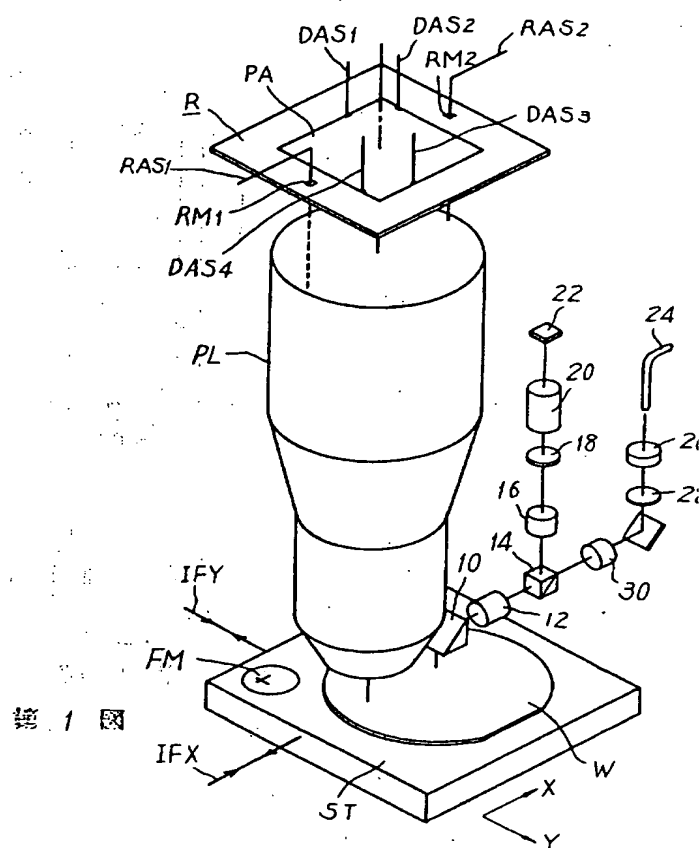
図、第18図はTTRアライメントセンサーの一例を説明する図、第19図(A)、(B)は干渉アライメント方式に使用される格子マークの断面構造とその信号波形とを示す図、第20図(A)、(B)、(C)はそれぞれウェハマーク形状の変形を示す図、第21図はウェハマーク本数とエッジボトム波形の数とを自動的に照合して最適なモードを選択する手順を示すフローチャート図、第22図は第21図の工程における信号波形処理の一例を示す波形図、第23図(A)、(B)はエッジボトム波の山割れ現象を説明するマーク構造と信号波形とを示す図、第24図は第1図に示したウェハアライメントセンサーの他の実施例による構成を示す斜視図、第25図は第24図の系に好適な共役指標板上のマーク配置を示す平面図、第26図、第27図はそれぞれ第25図中の指標マークの使い方と信号処理の方法とを示す図、第28図はウェハ上のグローバルアライメントマーク配置とサーチアライメント時の撮像範囲との関係を示す平面図、第29図(A)、(B)は第28

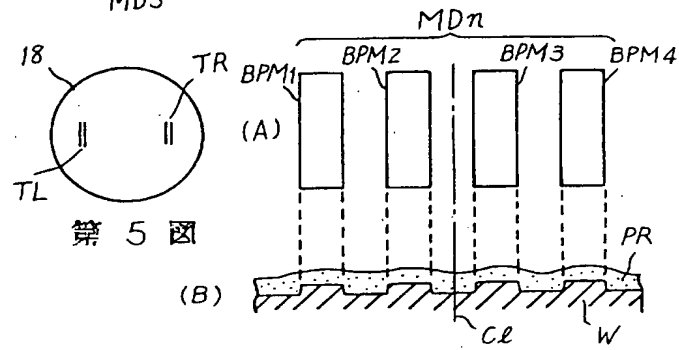
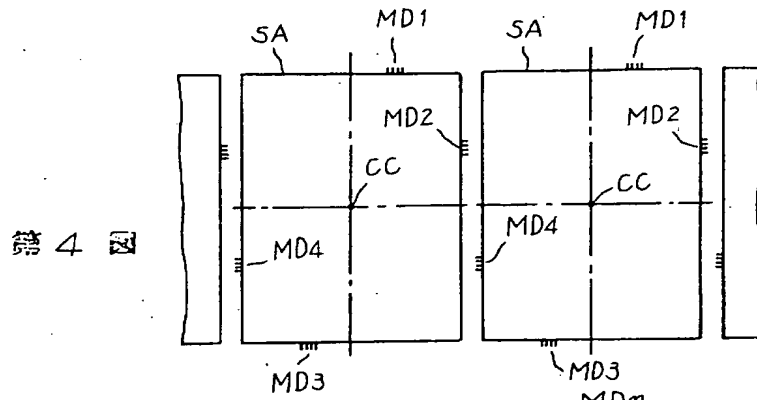
図に示したウェハを撮像したときのビデオ信号波形の一例を示す図、第30図はE. G. A方式でサンプルアライメントされるショット配置例を示す平面図である。

〔主要部分の符号の説明〕

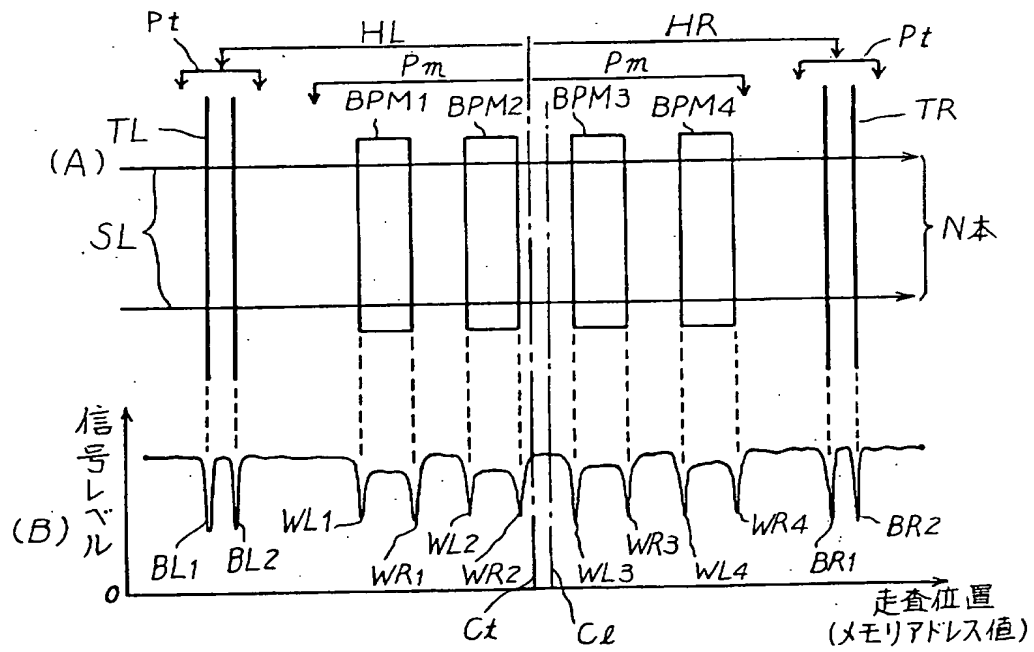
R…レチクル、W…ウエハ、PL…投影レンズ、M
K、MD1、MD2、MD3、MD4、MDn、W
M、GW、WGM…ウエハマーク、TL、TR…指
標マーク、ST…ウエハステージ、12…対物レン
ズ、18…共役指標板、22…CCD、24…広
帯域照明光用のファイバー、42…アナログーデ
ジタル変換器、43…メモリ(RAM)

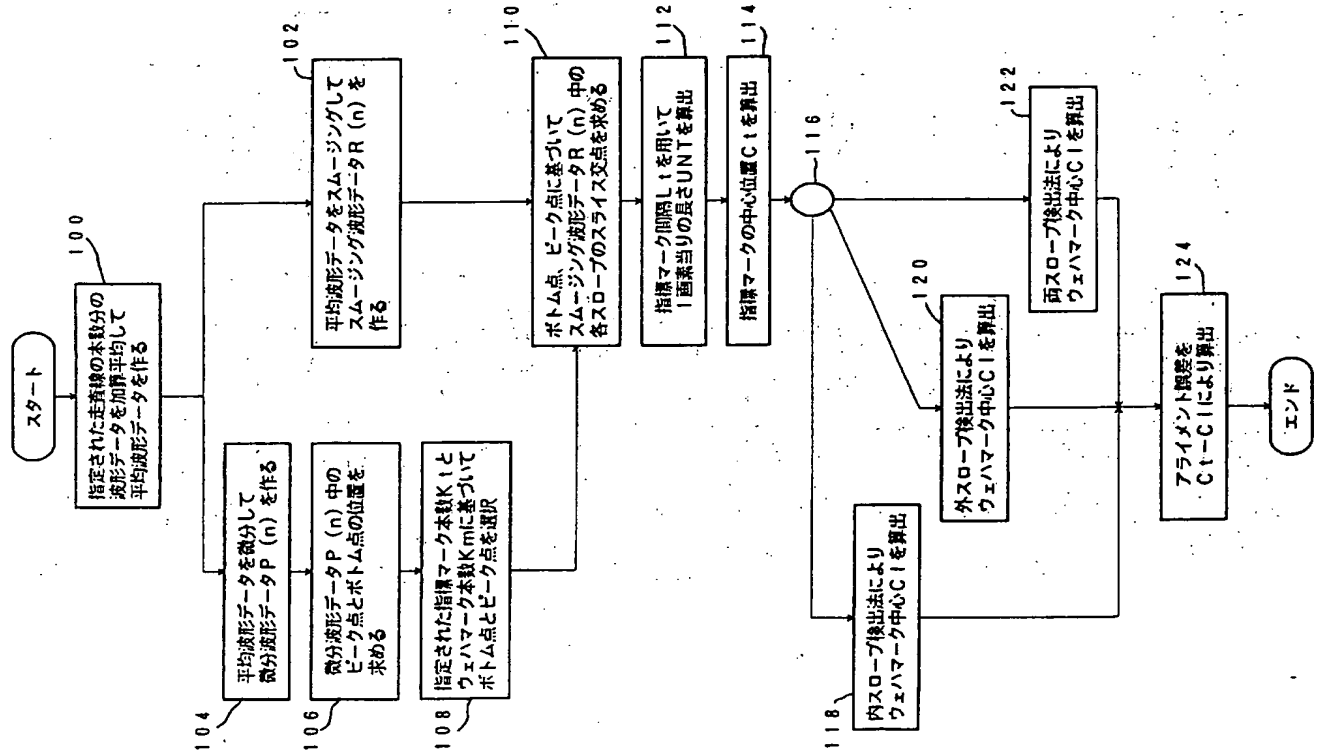
出願人 株式会社 ニコン
代理人 弁理士 渡辺 隆男



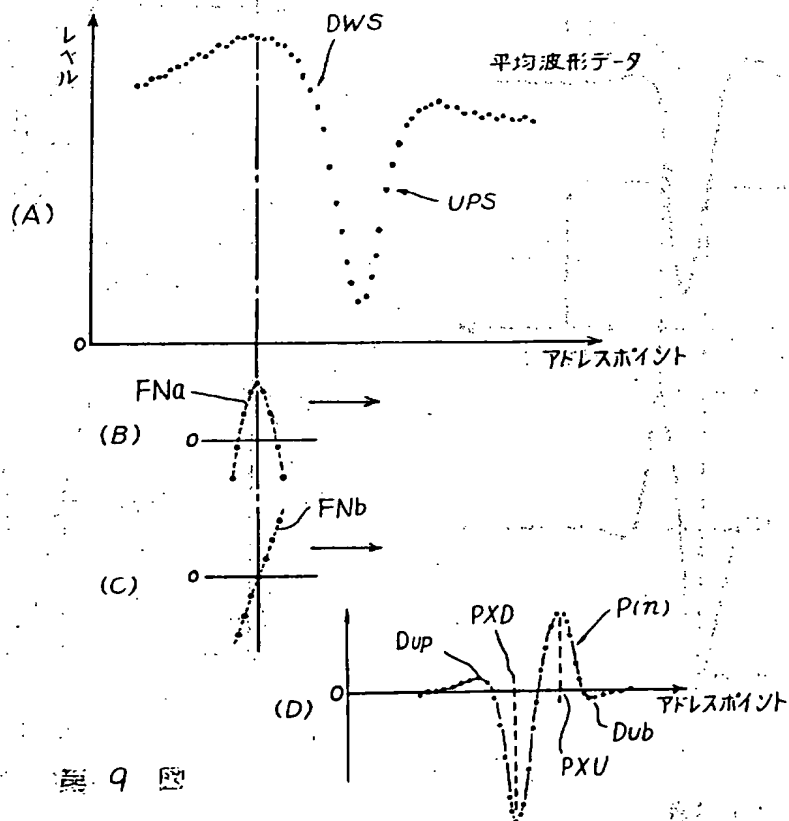


第 6 図

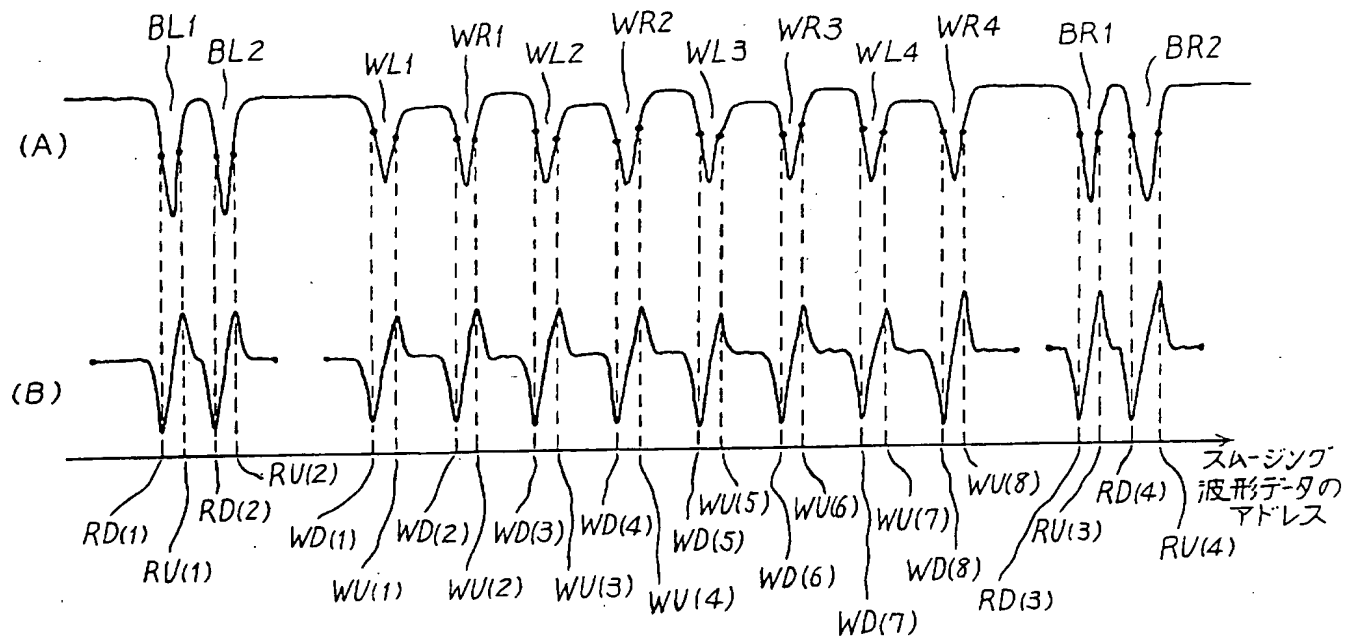




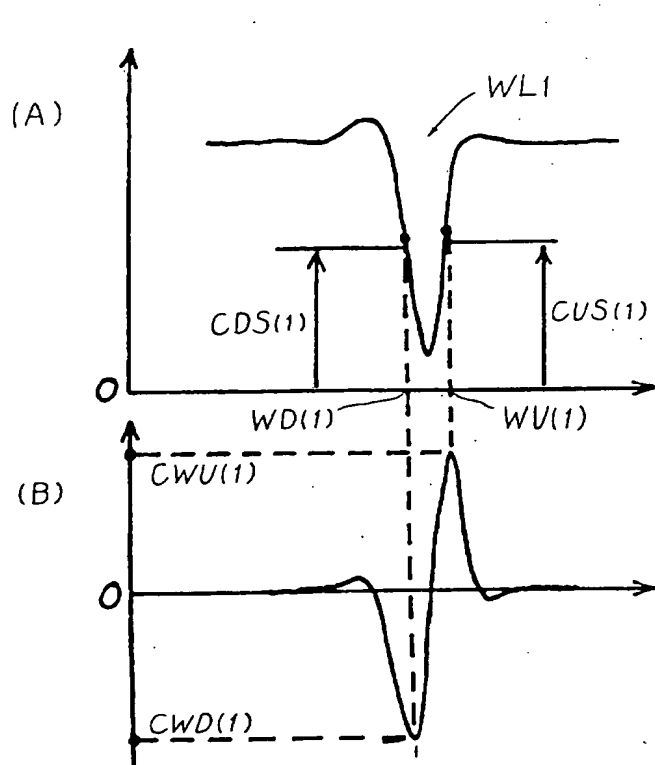
第 8 図



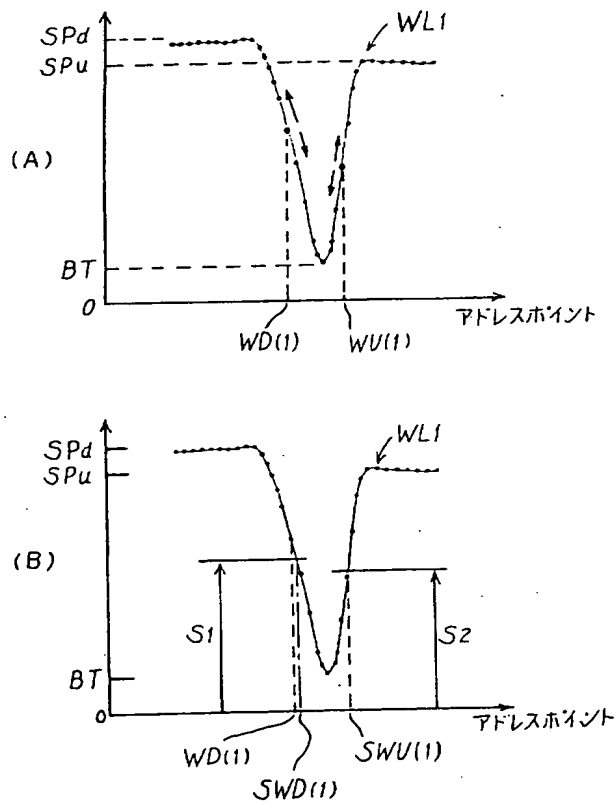
第 9 図



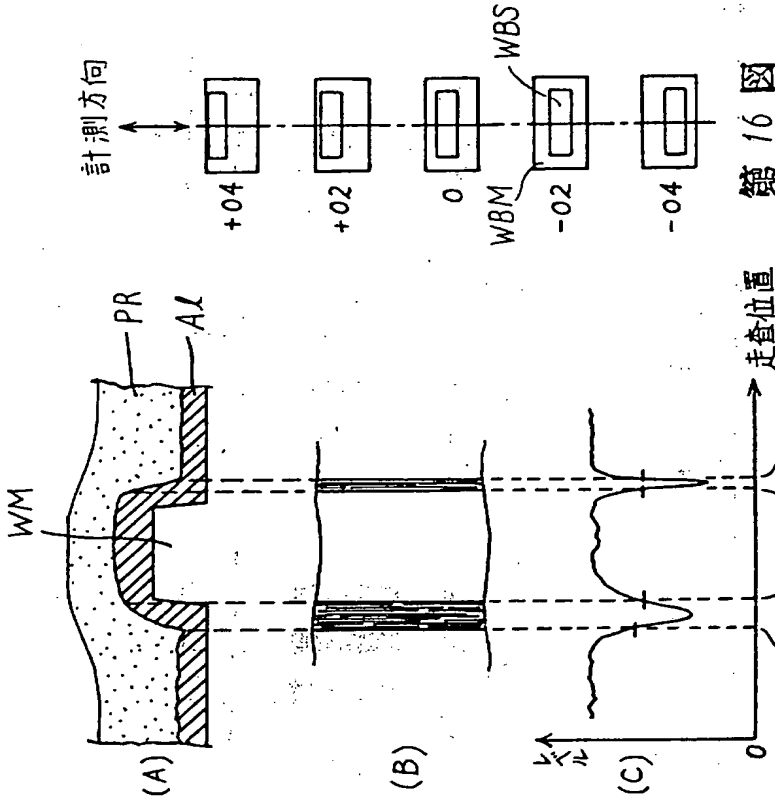
第 10 図



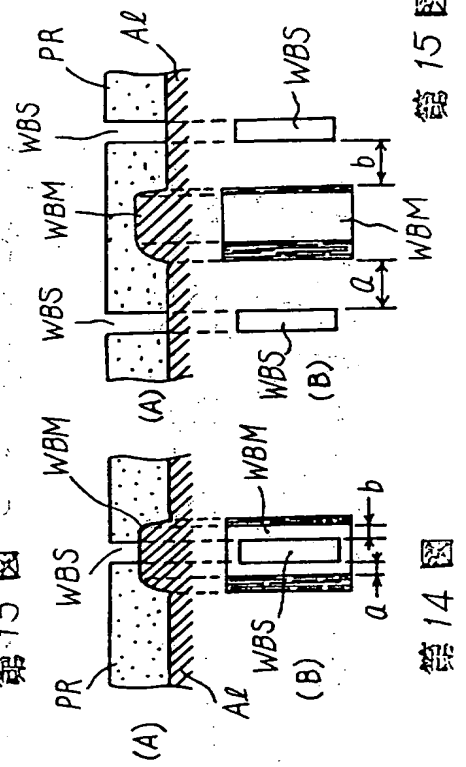
第 11 図



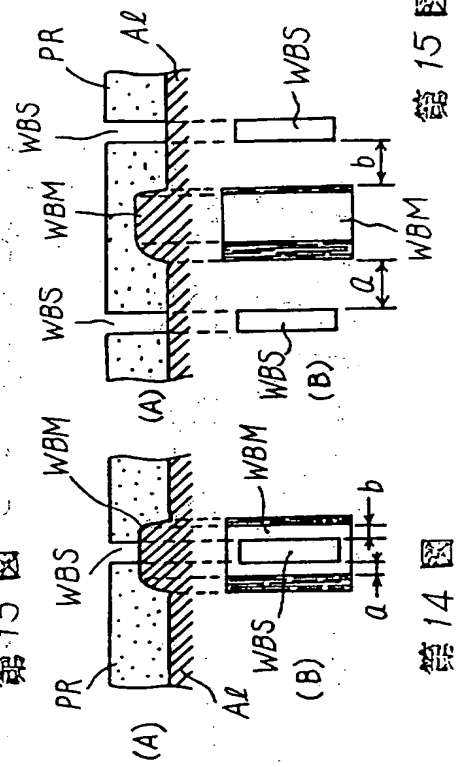
第 12 図



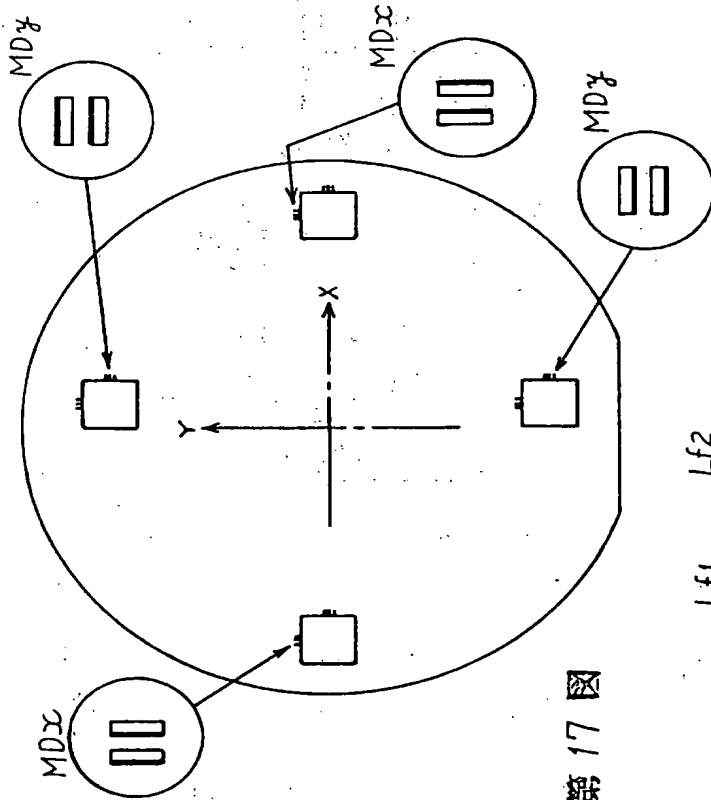
第 13 図



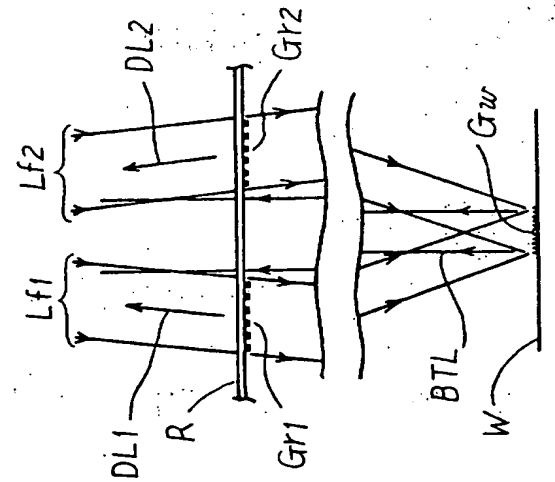
第 14 図



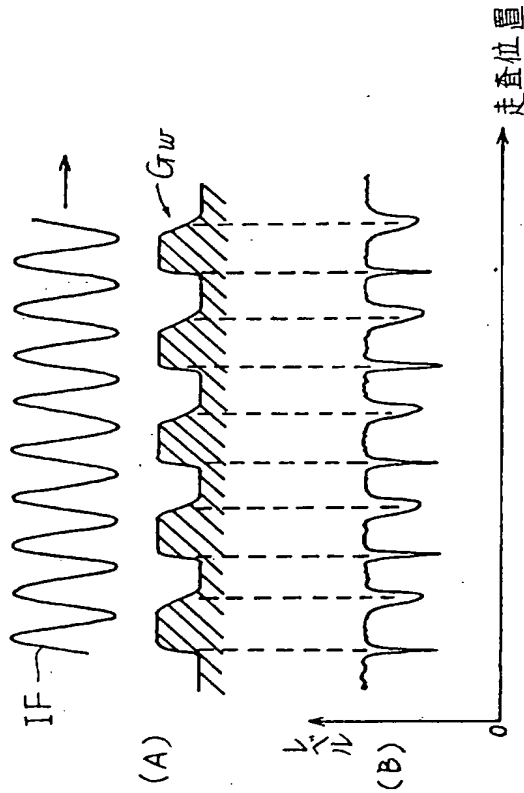
第 15 図



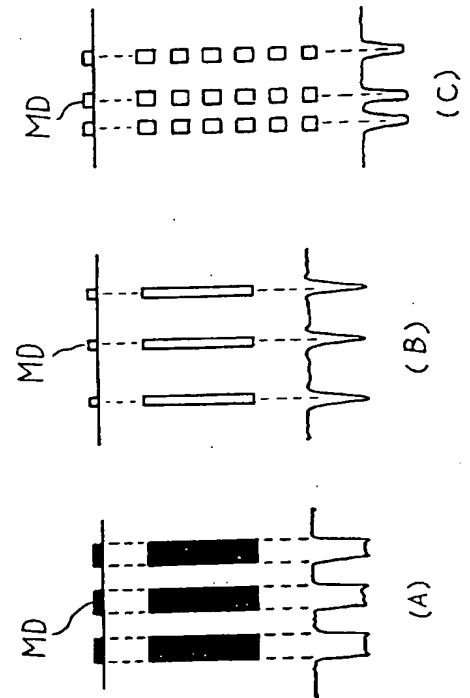
第 16 図



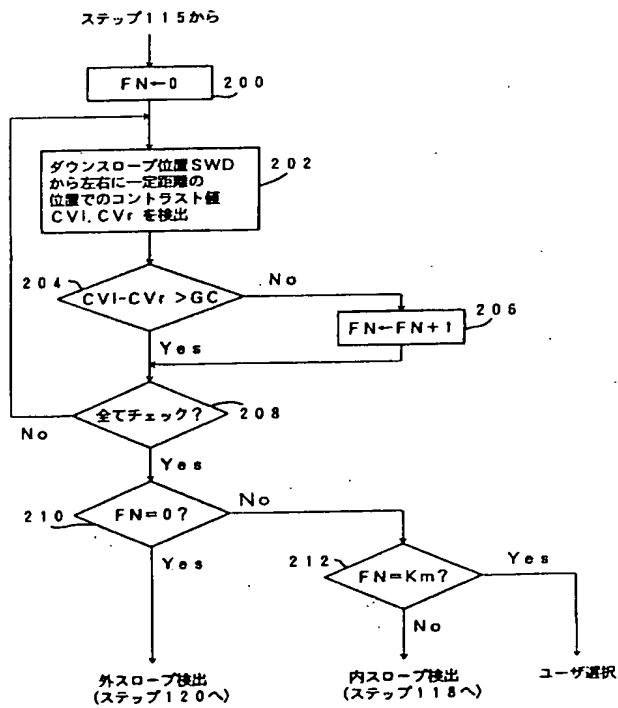
第 17 図



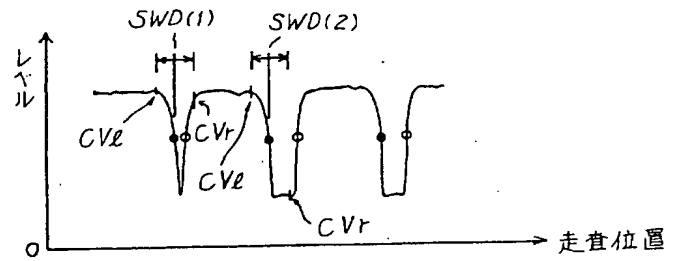
第19図



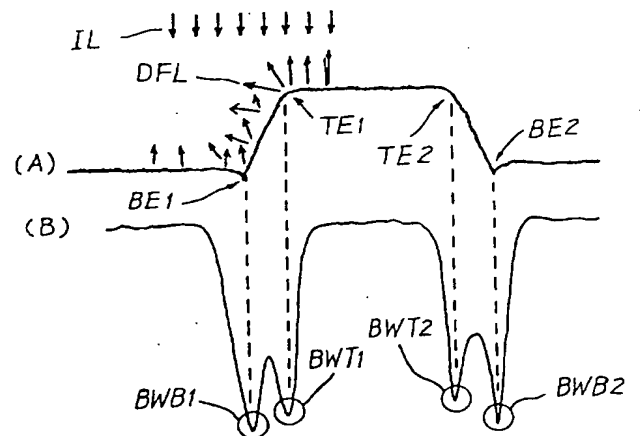
第20図



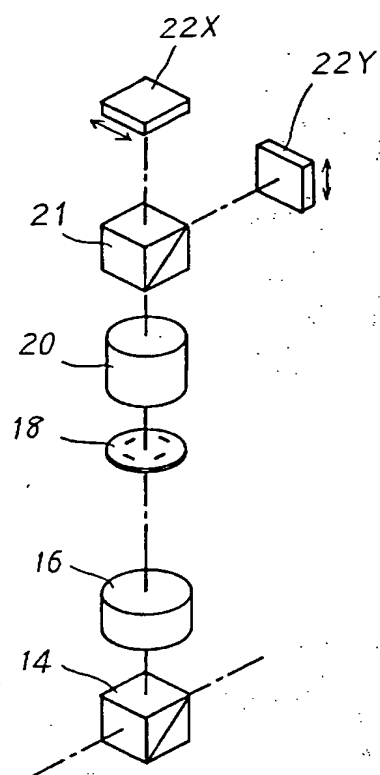
第21図



第22図

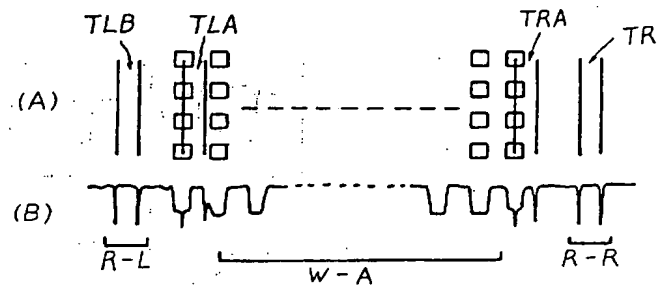
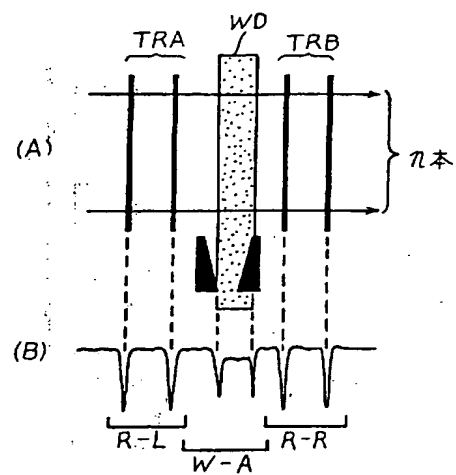


第23図

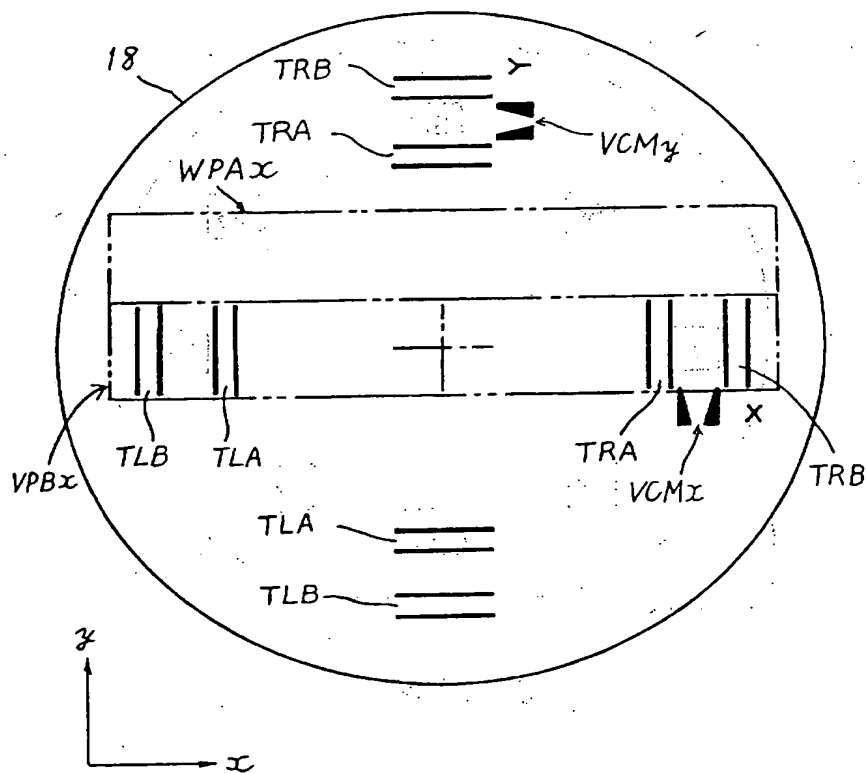


第 24 図

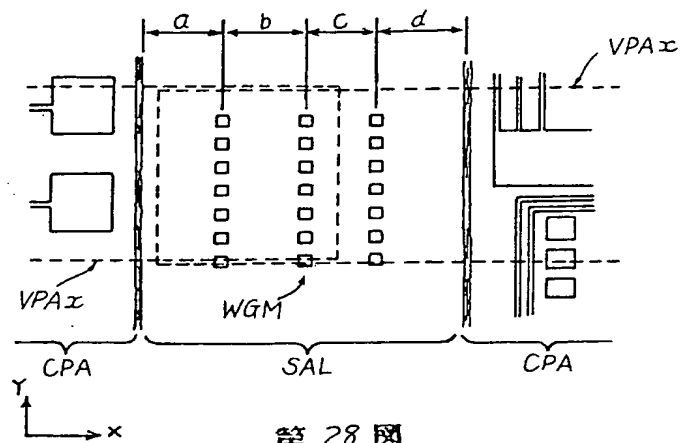
第 26 図



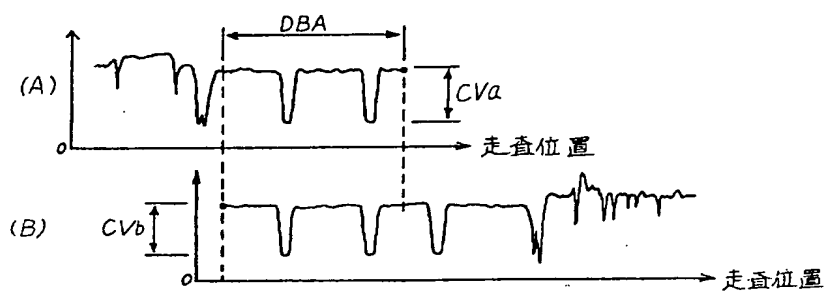
第 27 図



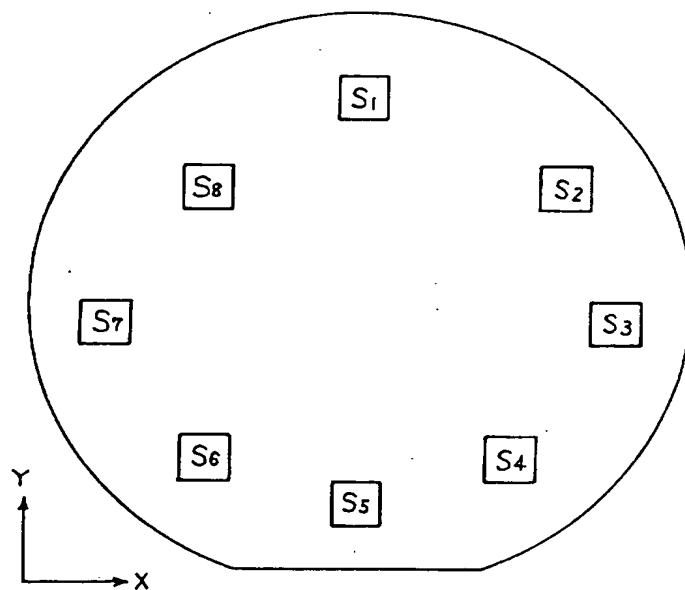
第 25 図



第 28 図



第 29 図



第 30 図